

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Biophysikalische Aufgabenstellungen im Physikunterricht“

Erprobung mittels Akzeptanzbefragung

verfasst von / submitted by

Birgit Schandl, BEd

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Education (MEd)

Wien, 2021 / Vienna, 2021

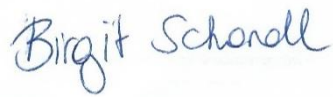
Studienkennzahl lt. Studienblatt / degree programme code as it appears on the student record sheet:	UA 199 506 523 02
Studienrichtung lt. Studienblatt / degree programme as it appears on the student record sheet:	Masterstudium Lehramt Sek (AB) Lehrverbund UF Deutsch Lehrverbund UF Physik Lehrverbund
Betreut von / Supervisor:	Univ.-Prof. Dr. Martin Hopf
Mitbetreut von / Co-Supervisor:	Mag. Dr. Marianne Korner

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Wien, am 3.2.2021

A handwritten signature in blue ink that reads "Birgit Schandl". The signature is written in a cursive, flowing style.

Birgit Schandl, BEd

Danksagung

Zu Beginn möchte ich mich bei allen Menschen bedanken, die mich beim Verfassen meiner Masterarbeit begleitet und unterstützt haben.

Ich bedanke mich bei Mag. Dr. Martin Hopf dafür, dass er die Betreuung für meine Masterarbeit übernommen hat.

Großer Dank gilt der Mitbetreuerin meiner Masterarbeit, Mag. Dr. Marianne Korner, dafür, dass sie mir Anregungen für die Gestaltung Arbeit gegeben hat und sich so viel Zeit genommen hat. Außerdem möchte ich mich bei ihr dafür bedanken, dass sie einige Schüler*innen aus der AHS Friesgasse (Friesgasse 4, 1150 Wien) dafür begeistern konnte, die von mir entwickelten Aufgabenstellungen auszuprobieren.

Auch möchte ich Dr. Mag. Michael Gring BEd dafür danken, dass ich mit zwei Schüler*innen seines Physik-Olympiade-Kurses die Aufgabenstellungen bearbeiten durfte.

Ich möchte mich außerdem bei allen Schüler*innen der AHS Friesgasse bedanken, die sich, teilweise sogar in den Sommerferien, die Zeit genommen haben, an den durchgeführten Akzeptanzbefragungen zu den Aufgabenstellungen teilzunehmen.

Des Weiteren möchte ich den Schüler*innen der BRG Gröhrmühlgasse (Gröhrmühlgasse 27, 2700 Wr. Neustadt) „Danke“ sagen, die meine entwickelte Aufgabenstellung zur „Elektronik der Nervenzelle“ vorab als Pilotstudie ausprobiert haben.

Bei meiner Familie bedanke ich mich dafür, dass sie mich immer, und so auch während meines Studiums, unterstützt hat.

Mein Freund war dann eine Stütze, wenn der Schreibprozess ins Stocken geraten ist. Ich möchte mich daher bei ihm dafür bedanken, dass er mich zum Weiterschreiben animiert hat.

Gendergerechte Formulierung

Diese Arbeit wurde mit bestem Wissen und Gewissen gendergerecht formuliert. Es wird entweder eine geschlechtsneutrale Form (z.B.: die Lehrperson, die Lehrkraft, die Lehrenden, die Lernenden, die Jugendlichen) verwendet oder die Betroffenen mit beiden Geschlechtern angesprochen. Dabei werden männliche und weibliche Form mittels Sternchen-Symbol (*) getrennt (z.B.: Schüler*innen, Lehrer*innen).

Ist im Text nur eine der beiden Formen zu finden, so ist auch nur die weibliche bzw. männliche Form gemeint.

Bei Zitaten oder Gedankengängen anderer wurde allerdings die ursprüngliche Formulierung des*r Autors*in beibehalten. Das heißt, hier wird möglicherweise nur eine Form des Geschlechts genannt (meist die männliche), gemeint sind aber beide Geschlechter.

Abstract (Deutsch)

Die vorliegende Masterarbeit behandelt die Entwicklung und Erprobung biophysikalischer Aufgabenstellungen für den Physikunterricht. Ausgehend von der Tatsache, dass der Physikunterricht von vielen Schüler*innen als uninteressant wahrgenommen wird, was mittlerweile zahlreiche Studien belegen, wird im Rahmen dieser Arbeit versucht, Unterrichtsmaterialien zu entwickeln, die sich vermehrt an den Interessen der Schüler*innen orientieren. Grundlage dafür ist die IPN-Interessenstudie, in welcher festgestellt wurde, dass besonders viele Schüler*innen im Physikunterricht angesprochen werden können, wenn physikalische Inhalte in das Interessenfeld „Mensch und Natur“ eingebettet werden.

Bei den im Folgenden entwickelten Aufgabenstellungen „Elektronik der Nervenzelle“ und „Aus einer Maus einen Elefanten machen“ wurden daher die physikalischen Inhalte in einen biophysikalischen Kontext eingebettet. Mit dem Ziel, herauszufinden, inwiefern sich biophysikalische Aufgabenstellungen dazu eignen, das Verständnis physikalischer Inhalte zu fördern und gleichzeitig die Interessen der Schüler*innen zu treffen, werden die entwickelten Aufgabenstellungen empirisch erprobt. Die dazu gewählte Methode ist die der Akzeptanzbefragung, die hier dazu genutzt wird, um die beiden Aufgabenstellungen im Gespräch mit den Schüler*innen zu erarbeiten und schließlich zu verbessern. Die Lehrperson tritt dabei sowohl als Interviewer*in als auch Lehrende*r auf und leitet das Gespräch mithilfe eines Interviewleitfadens. Das Gesprächsmaterial wird aufgezeichnet und transkribiert. Durch die Auswertung der Akzeptanzbefragungen soll herausgefunden werden, inwieweit die entwickelten Aufgabenstellungen für die Schüler*innen lösbar sind und wo Lernhindernisse auftreten. Die Schüler*innen werden auch hinsichtlich ihres Interesses für die Aufgabenstellung befragt. Aus den Auswertungen geht hervor, dass die befragten Schüler*innen die beiden Aufgabenstellungen mehrheitlich jeweils selbstständig oder mit wenigen Hilfestellungen lösen konnten und dass die gewählten Inhalte die Schüler*inneninteressen treffen. Neben der Aufgabenstellung wird auch die Methode der Akzeptanzbefragung evaluiert und diskutiert.

Abstract (English)

This Master's Thesis presents the development and testing of biophysical tasks, created to be used in physics class at school. Regarding to several studies, physics lessons at school are not considered as interesting, at least according to the opinion of many students. As the results of the „IPN-Interessenstudie“ show, most students can be captivated by physical content if it is put in the context of the human body or nature. Because of that the two designed tasks „Elektronik der Nervenzelle“ and „Aus einer Maus einen Elefanten machen“ are set in a biophysical context to meet the interests of a large group of students.

The aim of this Master's Thesis is to find out to which extent biophysical tasks can be beneficial for student's comprehension of physical concepts and to which extent biophysical tasks can increase the interest in physics lessons.

To answer the questions above the two created tasks are tested using the method of probing acceptance. This method is characterized as both an interview and a teaching lesson. The teacher operates during the conversation with the student as an interviewer asking the student questions about the physical content and at the same time providing the student necessary information and explaining the content. The whole conversation is structured by an interview guideline which was created beforehand by the teacher. The interviews are recorded and later transcribed.

To sum up the gathered data, the analysis of the transcripts showed that the majority of the set tasks could be solved by the students without or with little help and that the chosen context meets the interests of the interviewed students. Finally the created tasks are revised based on the results and the method of probing acceptance is evaluated.

Inhalt

EINLEITUNG	1
1 THEORETISCHE GRUNDLAGEN	4
1.1 Interesse im Physikunterricht	4
1.1.1 Begriffsdefinitionen zum Interesse	5
1.1.2 Erkenntnisse aus der IPN-Interessenstudie	6
1.1.3 Interesse als Ziel des Unterrichts	11
1.2 Der kontextorientierte Unterricht	13
1.2.1 Vom kontextorientierten zum fächerübergreifenden Unterricht	14
1.2.2. Argumente für und gegen den kontextorientierten Unterricht	15
1.2.3 Kontextorientierte Aufgabenstellungen	16
1.2.4 Biophysikalische Kontexte im Physikunterricht	17
1.3 Begabungsförderung im Physikunterricht.....	18
1.3.1 Modelle zur Begabungsentwicklung	18
1.3.2 Begabungsförderung im schulischen Bereich	20
1.3.3 Die österreichische Physikolympiade (ÖPhO).....	21
2 DIDAKTISCHE GRUNDLAGEN	22
2.1 Elementarisierung.....	22
2.2. Didaktische Analyse.....	24
2.3 Aufgabenentwicklung im Physikunterricht.....	26
2.3.1 Lern- und Testaufgaben	27
2.3.2 Merkmale von Aufgabenstellungen	28
3 AUFGABENENTWICKLUNG.....	31
3.1 Aufgabenentwicklung zur „Elektronik der Nervenzelle“	31
3.1.1 Biophysikalische Hintergründe zur Nervenzelle.....	32
3.1.1.1 Ruhezustand der Nervenzelle	32
3.1.1.2 Aktiver Zustand der Nervenzelle	36

3.1.2 Didaktische Analyse zur „Elektronik der Nervenzelle“	37
3.1.3 Analyse der Aufgabenstellung „Elektronik der Nervenzelle“	42
3.2 Aufgabenentwicklung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“	45
3.2.1 Biophysikalische Hintergründe zum Energieumsatz von Säugetieren.....	45
3.2.2 Didaktische Analyse zur Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“	47
3.2.3 Analyse der Aufgabestellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“	50
4 ERPROBUNG DER AUFGABENSTELLUNGEN	53
4.1 Durchgeführte Pilotstudien zu den beiden Aufgabenstellungen	53
4.1.1 Pilotstudie zur Aufgabenstellung „Elektronik der Nervenzelle“	54
4.1.2 Pilotstudie zur Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“	58
4.2 Methode der Akzeptanzbefragung	60
4.2.1 Durchführung und Interpretation der Akzeptanzbefragung	61
4.3 Entwicklung der Interviewleitfäden für die beiden Aufgabenstellungen.....	64
4.4 Rahmenbedingungen zu den Erprobungen mittels Akzeptanzbefragung	67
4.5 Detaillierte Auswertung der Erprobungen mittels Akzeptanzbefragung	68
4.5.1 Auswertung der Transkripte zur Aufgabenstellung „Elektronik der Nervenzelle“	70
4.5.2 Auswertung der Transkripte zur Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“	91
4.5.3 Auswertung der Abschlussfragen zu den beiden Aufgabenstellungen	99
4.6 Auswertung der Transkripte auf einen Blick	102
4.6.1 Übersicht der Auswertung zur Aufgabenstellung „Elektronik der Nervenzelle“	102
5 DISKUSSION	105
5.1 Interpretation der Auswertungen der beiden Aufgabenstellungen hinsichtlich der Förderung des physikalischen Verständnisses	105
5.1.1 Interpretation der Auswertungen zur „Elektronik der Nervenzelle“	105
5.1.2 Interpretation der Auswertungen zur Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“	106

5.2 Interpretation der Auswertungen der beiden Aufgabenstellungen hinsichtlich möglicher Lernhindernisse	107
5.2.1 Interpretation der Auswertungen zur Aufgabenstellung „Elektronik der Nervenzelle“	107
5.2.2 Interpretation der Auswertungen zur Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“	111
5.2.3 Zusammenfassende Darstellung möglicher Herausforderungen / Lernhindernissen	113
5.2.4 Lernendenvorstellungen Aufgabenstellung „Elektronik der Nervenzelle“	115
5.3 Überarbeitung der beiden Aufgabenstellungen	116
5.3.1 Überarbeitung der Aufgabenstellung „Elektronik der Nervenzelle“	116
5.3.2 Überarbeitung der Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“	117
5.4 Förderung des Interesses an Physik durch biophysikalische Aufgabenstellungen	118
5.5 Evaluierung der Methode der Akzeptanzbefragung	119
5.6 Limitationen der Masterarbeit und Ausblick	121
LITERATURVERZEICHNIS	124
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	131
TABELLENVERZEICHNIS	132
ANHANG	133
Anhang 1: Aufgabenstellung „Die Elektronik der Nervenzelle“	133
Anhang 2: Lösungsvorschlag der Aufgabenstellung „Die Elektronik der Nervenzelle“	138
Anhang 3: Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“	144
Anhang 4: Lösungsvorschlag der Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“	147
Anhang 5: Interviewleitfaden zur Aufgabenstellung „Die Elektronik der Nervenzelle“	150
Anhang 6: Interviewleitfaden zur Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“	157
Anhang 7: 1. Transkript (Befragung durchgeführt am 8.7.2020)	162
Anhang 8: 2. Transkript (Befragung durchgeführt am 6.8.2020)	193

Anhang 9: 3. Transkript (Befragung durchgeführt am 12.8.2020)	210
Anhang 10: 4. Transkript (Befragung durchgeführt am 1.10.2020)	220
Anhang 11: Überarbeitete Aufgabenstellung „Elektronik der Nervenzelle“	240
Anhang 12: Hilfskärtchen „Elektronik der Nervenzelle“	245
Anhang 13: Überarbeitete Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“	246
Anhang 14: Hilfskärtchen „Aus einer Maus einen Elefanten machen“	249

EINLEITUNG

Ausgangspunkt dieser Masterarbeit ist die Entwicklung von Unterrichtsmaterialien für den Physikunterricht, die sich an den Interessen der Schüler*innen orientieren. Das ist vor allem deshalb von großer Bedeutung, da Physik zu den unbeliebtesten Schulfächern zählt (vgl. Hoffmann und Lehrke, 1986). Daran hat sich auch in den letzten Jahrzehnten kaum etwas geändert (vgl. Wiesner u.a., 2011, S. 99). Wie im Rahmen großer Interessenstudien, wie etwa der IPN-Interessenstudie (vgl. Hoffmann u.a., 1998), festgestellt wurde, können die meisten Schüler*innen im Physikunterricht angesprochen werden, wenn sich der Unterricht am Interessenbereich „Mensch und Natur“ orientiert. Das kann zum Beispiel gelingen, wenn physikalische Inhalte in einen medizinischen Kontext eingebettet werden oder auf die physikalischen Hintergründe von Naturphänomenen eingegangen wird. Auch aus neueren Studien (vgl. Herbst u.a., 2016) geht hervor, dass mit den Inhalten des Bereichs „Mensch und Natur“ 50 % der Schüler*innen angesprochen werden können. Dieser Bereich ist mit deutlichem Abstand der Bereich, mit dem die meisten Schüler*innen erreicht werden können (vgl. Herbst u.a., 2016, S.4). Es bietet sich daher an, bei der Entwicklung von Unterrichtsmaterialien die physikalischen Inhalte in einen biophysikalischen Kontext einzubetten. Bei der Biophysik handelt es sich um ein eher junges Teilgebiet der Physik, in dem physikalische Erklärungen für Vorgänge in lebenden Organismen gesucht werden (vgl. Rädler u.a., 2015, S. 602). Es gibt zwar bereits Unterrichtskonzepte zu biophysikalischen Inhalten (vgl. z.B.: Colicchia, 2002), in diesem Bereich herrscht allerdings noch ein großer Bedarf an der Entwicklung weiterer Unterrichtsmaterialien. Um die Sammlung an biophysikalischen Aufgabenstellungen zu erweitern, werden im Rahmen der Masterarbeit zwei biophysikalische Aufgabenstellungen entwickelt.

Entsprechend des präsentierten Forschungsstands nimmt sich die vorliegende Masterarbeit zum Ziel, zwei biophysikalische Aufgabenstellungen zu verschiedenen Themengebieten zu entwickeln und diese auch mit Schüler*innen zu erproben. Die beiden gewählten Themenbereiche umfassen zum einen die Nervenzelle, die als biophysikalische Anwendung der Elektronik ausgewählt wurde, und zum anderen den Vergleich der beiden Säugetiere Maus und Elefant hinsichtlich ihrer Stoffwechselintensität, ihres Grundumsatzes und ihres Verhältnisses zwischen Oberfläche und Volumen, was eine biophysikalische Anwendung des Konzepts der Energieerhaltung darstellt. Mit der Entwicklung der beiden Aufgabenstellungen

wird angestrebt, das physikalische Verständnis sowie das Interesse der Schüler*innen im bzw. am Physikunterricht zu fördern.

Basierend auf den gesetzten Zielen der Masterarbeit ergeben sich die folgenden Forschungsfragen, die im Rahmen der Arbeit zu beantworten versucht werden:

- Inwiefern kann mittels Akzeptanzbefragungen festgestellt werden, wie biophysikalische Aufgabenstellungen das physikalische Verständnis fördern?
- Inwiefern können mittels Akzeptanzbefragungen Lernhindernisse der biophysikalischen Aufgabenstellungen festgestellt werden und welcher Art sind diese?
- Inwiefern kann mittels biophysikalischer Aufgabenstellungen das Interesse der Schüler*innen am Physikunterricht gefördert werden?

Wie bereits aus den Forschungsfragen hervorgeht, wird die Erprobung der beiden Aufgabenstellungen durch Anwendung der Methode der Akzeptanzbefragung vorgenommen. Diese Methode bezeichnet ein Gespräch zwischen einer Lehrperson und einem*r Schüler*in, das eine Mischung aus Interview und Lehrgespräch darstellt. Basierend auf einem Interviewleitfaden werden die Inhalte der Aufgabenstellung Schritt für Schritt im Gespräch zwischen Lehrperson und Schüler*in erarbeitet. Das gesamte Gesprächsmaterial wird aufgezeichnet und im Anschluss transkribiert und ausgewertet. Durch diese Befragungsmethode kann bei der Analyse des Gesprächsmaterials festgestellt werden, inwieweit die physikalischen Inhalte bzw. Konzepte von den Schüler*innen angenommen werden. Es kann also zum Beispiel festgestellt werden, welche Teilaufgaben von den Schüler*innen gut bearbeitet werden konnten, welche Erklärungen und Informationen durch die Lehrperson hilfreich waren, welche Lernendenvorstellungen die Schüler*innen besitzen und welche Lernhindernisse möglicherweise auftreten. Nach der Bearbeitung der gesamten Aufgabenstellung werden die Schüler*innen außerdem befragt, ob die Art der Aufgabenstellung ihre Interessen anspricht und wo ihre Interessensbereiche im Physikunterricht liegen.

Die vorliegende Masterarbeit gliedert sich in fünf große Kapitel. Dabei umfasst das erste Kapitel die theoretischen Grundlagen, auf denen die folgende eigene Forschungsarbeit fußt. Es werden unter anderem das Interesse im und am Physikunterricht behandelt, der kontextorientierte Unterricht sowie die Begabungsförderung im Physikunterricht. Das zuletzt genannte Unterkapitel wurde in die Arbeit eingegliedert, da die Schüler*innen, die an der Akzeptanzbefragung teilgenommen haben, größtenteils an Programmen der

Begabungsförderung im Physikunterricht (Physik-Olympiade-Kurse) teilnehmen. Das zweite Kapitel der Masterarbeit befasst sich mit der didaktischen Aufbereitung von Inhalten im Physikunterricht. Dabei wird zunächst die Elementarisierung von Sachinhalten behandelt, im Anschluss die Didaktische Analyse eines physikalischen Inhalts und schließlich die Erstellung von Aufgabenstellungen im Physikunterricht. Im folgenden Kapitel 3 werden die beiden Aufgabenstellungen „Elektronik der Nervenzelle“ und „Aus einer Maus einen Elefanten machen“ entsprechend der didaktischen Grundlangen aus Kapitel 2 erstellt. Im vierten Kapitel finden schließlich die Beschreibung und Auswertung der Erprobung der erstellten Aufgabenstellungen statt. Zunächst wurde zu beiden Aufgabenstellungen jeweils eine Pilotstudie durchgeführt. Anschließend wird die Methode der Akzeptanzbefragung vorgestellt und der Aufbau des Interviewleitfadens, wie er von der Lehrperson für die Akzeptanzbefragungen verwendet wird. Schließlich folgen die Rahmenbedingungen der Akzeptanzbefragungen und die detaillierte Auswertung des Gesprächsmaterials, wobei die bearbeiteten Aufgabenstellungen in ein Kategoriensystem eingeteilt werden, das angibt, inwieweit die Schüler*innen die Aufgabenstellungen mit den gegebenen Informationen selbstständig lösen konnten. Im Kapitel 5 wird die Auswertung der Akzeptanzbefragungen interpretiert, die Methode der Akzeptanzbefragung evaluiert und die gestellten Forschungsfragen diskutiert. Die beiden Aufgabenstellungen werden anschließend basierend auf den Auswertungen des Gesprächsmaterials überarbeitet.

1 THEORETISCHE GRUNDLAGEN

Zur Behandlung der theoretischen Aspekte, die dieser Masterarbeit zugrunde liegen, wird zunächst im Unterkapitel 1.1 die Ausgangslage zum Interesse an der Physik bzw. am Physikunterricht dargestellt. Nach einer Definition des Interessenbegriffs werden die Ergebnisse der IPN-Interessenstudie aus den Jahren 1984-1989 präsentiert (vgl. Hoffmann u.a., 1998) und auch neuere Erkenntnisse aus der Interessenforschung (vgl. Herbst u.a., 2016). Anschließend wird begründet, wieso das Interesse entsprechend der Forschungslage ein eigenes Unterrichtsziel im Physikunterricht darstellen sollte. Als Möglichkeit, die Schüler*inneninteressen im Unterricht anzusprechen, wird in Kapitel 1.2 der kontextorientierte Unterricht in seiner Umsetzung vorgestellt und hinsichtlich seiner Vor- und Nachteile diskutiert. Basierend auf dem Ziel dieser Arbeit, biophysikalische Aufgabenstellungen für den Unterricht zu entwickeln und zu erproben, wird außerdem im Speziellen auf kontextorientierte Aufgabenstellungen und biophysikalische Inhalte im Unterricht eingegangen. Das abschließende Unterkapitel 1.3 beschäftigt sich mit der Begabungsförderung im Physikunterricht, da die meisten Schüler*innen, mit denen die in Kapitel 3 entwickelten Aufgabenstellungen getestet werden, Programme zur physikalischen Begabungsförderung besuchen. Es werden Modelle zur Begabungsentwicklung und exemplarisch die österreichische Physikolympiade als Fördermodell vorgestellt.

1.1 Interesse im Physikunterricht

Schon in den 1970er-Jahren wurden einige Untersuchungen bezüglich des Interessenverlaufs von Schüler*innen der Sekundarstufe I durchgeführt (vgl. z.B.: Todt u.a., 1975). Aus der Datenlage ging hervor, dass das Schüler*inneninteresse am Physikunterricht mit zunehmendem Alter in der Sekundarstufe I immer weiter abnimmt (vgl. Euler, 1982, S. 164). Im Rahmen einer freien Befragung von Schüler*innen der Schulstufen 10-12 hat sich ergeben, dass 34 % der Schüler*innen Physik als Schulfach, aus Gründen wie etwa dem hohen Schwierigkeitsgrad und dem fehlenden Interesse am Fach, wenn möglich abwählen und, dass 18 % der Schüler*innen der Meinung sind, Physik wäre für das Leben nicht so bedeutungsvoll wie andere Fächer (vgl. Euler, 1982, S. 33-35). Sogar weltweit wurde bereits vor einigen Jahrzehnten festgestellt, dass Physik als eines der unbeliebtesten Schulfächer gilt (vgl. z.B.: Hoffmann & Lehrke, 1986). Diese Tatsache führt zu fachinternen Problemen, wie etwa dem fehlenden Nachwuchs in naturwissenschaftlichen Studiengängen und Berufen. Außerdem werden

naturwissenschaftliche Erkenntnisse und technische Anwendungen unabhängig von der Berufswahl zunehmend Teil unseres Alltags, weswegen physikalische Bildung für persönliche, gesellschaftliche und politische Entscheidungsfindung und Handlungsfähigkeit von zentraler Bedeutung ist. Daher ist es sinnvoll, näher zu untersuchen, inwieweit der Physikunterricht in der Schule möglicherweise selbst ursächlich zur geringen Attraktivität der Physik Beitrag leistet und, was getan werden kann bzw. muss, um dieser Entwicklung gegenzusteuern (vgl. Euler, 1982, S. 12-14). Außerdem erscheint es notwendig, die naturwissenschaftlichen Interessenbereiche der Jugendlichen genauer und über einen längeren Zeitraum zu untersuchen (vgl. Hoffmann u.a., 1998, S. 9), da davon ausgegangen werden kann, dass sich eine Orientierung an den Schüler*inneninteressen positiv auf die Lernmotivation im Fach Physik auswirkt (vgl. Euler, 1982, S. 162).

1.1.1 Begriffsdefinitionen zum Interesse

Dem lateinischen Wortursprung nach bedeutet *Interesse* „dazwischen sein“, also in eine Sache eingebunden sein. Dafür muss der Interessengegenstand die Aufmerksamkeit der Person (in diesem Fall des*r Schülers*in) erregen (vgl. Muckenfuß, 1995, S. 73). Der Interessensgegenstand ist für den*die Schüler*in wichtig und die Auseinandersetzung damit löst positive Gefühle aus. Es kommt zu einer Identifikation mit dem Interessengebiet, ohne dass bestimmte Motive dahinterstehen (vgl. Wiesner u.a., 2011, S. 99).

Häufig ist es zielführend, den Begriff *Interesse* in das *situationale Interesse* und das *individuelle Interesse* weiter zu unterteilen. Das situationale Interesse kann in einer Person angesprochen werden, wenn eine Gegebenheit momentan als interessant eingestuft wird. Diese Form des Interesses ist allerdings kurzlebig und das Ereignis wird nicht tiefer im Gedächtnis verankert. Wenn eine dauerhafte Verbindung zwischen dem Interessengegenstand und der Person entsteht, dann spricht man vom individuellen Interesse. Somit benötigen Schüler*innen, die noch kein stabiles Verhältnis zum Physikunterricht in Form eines individuellen Interesses aufgebaut haben, zusätzlich aufmerksamkeitsregende Elemente im Unterricht, die zunächst ein situationales Interesse auslösen sollen. Dieses situationale Interesse kann sich im günstigsten Falle bis zum individuellen Interesse weiterentwickeln (vgl. Wiesner u.a., 2011, S. 99). Eine Vereinigung der beiden Interessenaspekte zu einem ganzheitlichen Interessenbegriff hat sich wissenschaftlich bewährt. Dabei wird davon ausgegangen, dass eine Wechselwirkung zwischen individuellem und situationalem Interesse besteht, wobei das individuelle Interesse durch das

Wecken des situationalen Interesses immer wieder aktualisiert und vertieft werden kann (vgl. Häußler u.a., 1998, S. 119).

Die aufmerksamkeitsregenden Elemente werden nach Mitchell als *Catch-Faktoren* bezeichnet. Eine gesteigerte Aufmerksamkeit des*r Schülers*in kann durch die Einbettung des Lerninhaltes in einen spannenden Kontext erreicht werden. Wie bereits kurz angeschnitten wurde, ist es entscheidend, die situationsbezogene Aufmerksamkeit der Schüler*innen so zu nutzen, dass sie über einen längeren Zeitraum bestehen bleibt. Dafür sind die sogenannten *Hold-Faktoren* von Bedeutung, mit denen unter anderem die emotionale Befriedigung durch die Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand, die Autonomie der Schüler*innen und die Erfahrung des eigenen Könnens der Schüler*innen gemeint ist (vgl. Wiesner u.a., 2011, S. 100-101). Wenn das Interesse dauerhaft geweckt wird, kommt es zu einem aktiven Handeln durch den*die Schüler*in, das zum Ziel hat, die Eingebundenheit in den Gegenstand bzw. eine kognitive Auseinandersetzung mit dem Gegenstand zu intensivieren (vgl. Muckenfuß, 1995, S. 73).

Es wird außerdem zwischen dem Interesse an der Physik als Sachgegenstand und zwischen dem Interesse am Unterrichtsfach Physik unterschieden. Schließlich ist es nicht zwingend so, dass sich Schüler*innen, die generell gerne physikalische Wissensendungen im Fernsehen ansehen oder Magazine lesen (was dem *Sachinteresse* entspricht), deswegen auch Gefallen am Physikunterricht (*Fachinteresse*) finden. Abgesehen von der unterschiedlichen Darstellung der physikalischen Inhalte spielen für das Fachinteresse etwa auch die Leistungsbeurteilung, die Meinung des Umfelds zum Fach Physik, die Komplexität des Unterrichts und die Sympathie der Lehrkraft eine bedeutsame Rolle (vgl. Wiesner u.a., 2011, S. 101).

1.1.2 Erkenntnisse aus der IPN-Interessenstudie

Entsprechend der zu Beginn des Kapitels vorgestellten Ausgangslage zum (Des-)Interesse der Schüler*innen am Physikunterricht wurde die IPN-Interessenstudie konzipiert. Sie umfasst eine Längsschnitt- und zwei Querschnittstudien und wurde im Zeitraum der Jahre 1984-1989 durchgeführt. Begonnen wurde im Jahr 1984 mit der 5. Schulstufe und geendet 1989 mit der 10. Schulstufe. Jährlich wurden um dieselbe Jahreszeit Erhebungen vorgenommen, um den Interessenverlauf der Schüler*innen zu beobachten. Teilnehmend waren 26 deutsche Schulen sowohl in städtischen als auch in ländlichen Regionen (vgl. Hoffmann u.a., 1998, S. 13-14). Die gewählte Methode zur Interessenerhebung war die Befragung der Schüler*innen mittels Fragebogen. Begründet wird die Methode dadurch, dass sie sich für diesen

Forschungsgegenstand in einer Erhebung von Todt bereits bewährt hat, da sich die Angaben der Schüler*innen mit ihrem Verhalten weitgehend decken (vgl. Hoffmann u.a., 1998, S. 9).

In Bezug auf das Sachinteresse der Schüler*innen ging aus den Untersuchungen der IPN-Interessenstudie hervor, dass es für die Schüler*innen zentral ist, dass das Gelernte für den Alltag und das Leben von Bedeutung ist. Viel weniger interessieren sich Schüler*innen für das wissenschaftliche Denken und Handeln. Daher ist es wichtig, nicht nur nach dem Interesse der Schüler*innen an bestimmten wissenschaftlichen Inhalten zu fragen, sondern außerdem zu eruieren, welches Interesse an bestimmten Anwendungen der wissenschaftlichen Inhalte besteht und welches Interesse an Tätigkeiten besteht, die mit den entsprechenden Inhalten in Verbindung stehen. Tatsächlich ergab die Forschung, dass nicht das wissenschaftliche Gebiet dafür bedeutend ist, ob es auf Interesse bei den Schüler*innen stößt, sondern in welchen Anwendungsbereich es eingebettet ist und welche Tätigkeiten im Zusammenhang damit ausgeführt werden können (vgl. Häußler, 1998, S. 120).

Was sich größtenteils positiv auf das Interesse der Schüler*innen auswirkt, ist der Bezug auf Alltagssituationen und insbesondere zum menschlichen Körper, zu erstaunlichen Phänomenen bzw. Thematiken mit gesellschaftlicher Bedeutung. Hinsichtlich der bevorzugten Tätigkeiten rangieren Bauen und Konstruieren (vor allem in jüngeren Jahren) weit vorne und Diskutieren und Bewerten bei älteren Schüler*innen. Negativ auf das Interesse der Schüler*innen wirken sich Rechnen oder andere quantitative Tätigkeiten aus (vgl. Häußler u.a., 1998, S. 121).

Der konventionelle Physikunterricht ist häufig nicht entsprechend der Interessen der Schüler*innen ausgerichtet, sondern verstärkt eben genau die Aspekte des Unterrichts („Physik als Wissenschaft“), die für die Schüler*innen nicht als interessant wahrgenommen werden und nicht diejenigen, die die Schüler*innen interessieren („Physik im Bezug zur Lebenswelt“) (vgl. Häußler u.a., 1998, S. 126).

Diese Feststellung wird auch durch die Auswertungen zum Fachinteresse (vgl. Abbildung 1) gestützt. So besitzen Burschen zu Beginn der Sekundarstufe I ein eher hohes Interesse für den Physikunterricht, wohingegen Mädchen mit einem geringeren Ausgangsinteresse starten. Zusätzlich nimmt das Interesse der Mädchen weiter ab und bei den Burschen bleibt es eher gleich. Am Ende der Sekundarstufe I (und darüber hinaus) ist Physik für Burschen eines der interessantesten Fächer und für Mädchen eines der uninteressantesten Fächer (vgl. Häußler u.a., 1998, S. 124).

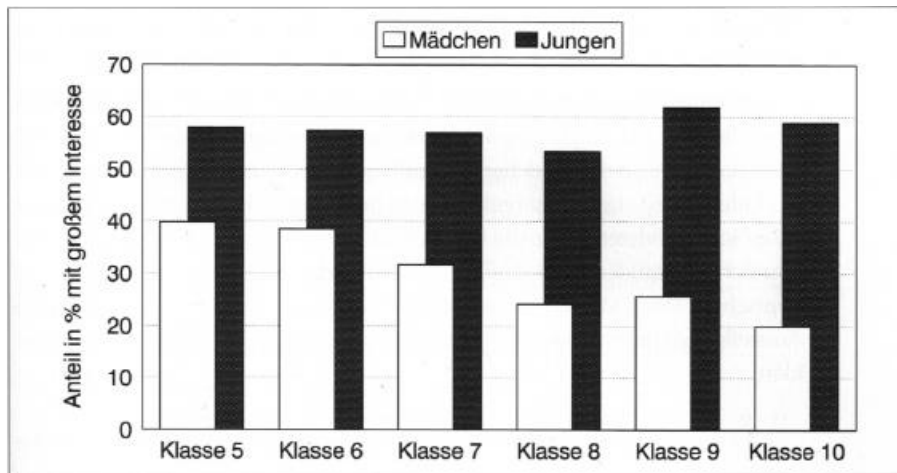


Abbildung 1: Fachinteresse im Physikunterricht (Häußler 1998, S.125)

Daraus lässt sich schließen, dass der Schulunterricht die Interessenunterschiede zwischen Burschen und Mädchen zusätzlich weiter verstärkt anstatt ausgleichend zu wirken. Die vier Faktoren, die für das Sachinteresse der Schüler*innen am bedeutsamsten sind, sind die Faszination an technischen (1) bzw. natürlichen Phänomenen (2), das Selbstvertrauen in die eigene Leistungsfähigkeit (3) und die persönliche Bedeutung, die der Sache zugeschrieben wird (4). Von diesen vier Faktoren ist besonders das Vertrauen in die eigene Leistungsfähigkeit entscheidend und es kann davon ausgegangen werden, dass die Interessenunterschiede häufig diesem Faktor entspringen. Das ist einleuchtend, da Mädchen ihr Können bzw. ihre Leistungen eher geringer einschätzen als Burschen und das Vertrauen in ihre Fähigkeiten auch im Verlauf der Schulkarriere abnimmt. Dass dem entgegengewirkt werden kann, konnten Hoffmann u.a. in einem Bundes-Länder-Kommission-Modellversuch zeigen. Tatsächlich kann der Zusammenhang zwischen Fachinteresse und Sachinteresse hergestellt werden, wenn sich der Unterricht an den Interessen der Mädchen orientiert (vgl. Häußler u.a., 1998, S. 125-127).

Außerdem haben sich im Zuge dieser groß angelegten Studie drei Interessenbereiche für den Physikunterricht herauskristallisiert, die für Schüler*innen von Bedeutung sind (vgl. Häußler u.a., 1998, S. 129):

- Physik und Technik: In diesem Interessenbereich geht es um das Interesse an Physik um ihrer selbst willen.
- Mensch und Natur: Im Bereich „Mensch und Natur“ stehen die Erklärung von Naturphänomenen und Fragestellungen zum menschlichen Körper im Zentrum.

- Gesellschaft: Hier wird die Bedeutung von physikalischen Erkenntnissen für die Gesellschaft diskutiert.

Die empirische Feststellung dieser drei Interessenbereiche bedeutet allerdings nicht, dass alle Schüler*innen einem dieser Bereiche zugeordnet werden können. Ganz im Gegenteil, die drei Interessentypen, die sich in der Forschung herauscharakterisiert haben, sind dadurch bestimmt, wie groß jeweils das Interesse an den drei Bereichen ist (vgl. Häußler u.a., 1998, S. 129):

- Typ A: Der erste Interessentyp wurde so festgelegt, dass er der Gruppe an Schüler*innen entspricht, die sich für alle drei Interessenbereiche begeistern können. Auch Berechnungen bereiten Schüler*innen dieses Typs Freude.
- Typ B: Schüler*innen dieses Typs finden hauptsächlich am Bereich „Mensch und Natur“ Gefallen, während die anderen Bereiche ihnen kaum etwas bedeuten.
- Typ C: Der Interessentyp C interessiert sich hauptsächlich für den Bereich „Gesellschaft“ und in einem begrenzten Maß auch für den Bereich „Mensch und Natur“, nicht aber für „Physik und Technik“.

Interessant ist, dass es geschlechter- und altersspezifische Unterschiede zwischen den jeweiligen Interessentypen gibt. Dem Interessentyp A gehören hauptsächlich Burschen an, die tendenziell eher jünger sind und ein gutes Leistungskonzept im Fach Physik aufweisen. Dem Interessentyp B gehören gleich viele Mädchen wie Burschen an und diese Schüler*innen weisen mittlere Leistungen im Schulfach auf. Der Interessentyp C wird vorwiegend Mädchen zugeordnet, ihr Leistungskonzept in Physik ist eher schwach (vgl. Häußler u.a., 1998, S. 137-138).

Bedeutend für die Gestaltung des Unterrichts ist auch, dass die Häufigkeitsverteilung der drei Interessentypen nicht ausgeglichen ist, sondern, dass etwa 20 % der Schüler*innen dem Typ A angehören, 55 % dem Typ B und 25 % dem Typ C. Da der Typ B zahlenmäßig die größte Gruppe darstellt und dieser sich hauptsächlich für den Interessenbereich „Mensch und Natur“ begeistert, der auch von den anderen Interessentypen zumindest eingeschränkt als interessant wahrgenommen wird, scheint eine Orientierung des Unterrichts in diese Richtung am sinnvollsten (vgl. Häußler u.a., 1998, S. 140).

In Bezug auf die geschlechterbezogenen Unterschiede ist das Anwendungsgebiet für Mädchen von größerer Bedeutung als für Burschen. Burschen interessieren sich nämlich häufiger für Physik um ihrer selbst willen. Jedoch kann man prinzipiell sagen, dass das, was für die Mädchen

interessant ist, auch den Interessen der Burschen entgegenkommt (vgl. Häußler u.a., 1998, S. 122).

In einer Pilotstudie, die im Jahr 2015 an sieben Gymnasien in Salzburg mit rund 200 Schüler*innen durchgeführt wurde, wurde mittels Fragenbogen erhoben, ob es Veränderungen des Interessenprofils von Jugendlichen hinsichtlich Physik(-unterricht) seit den letzten groß angelegten Studien gibt. In dieser Querschnittsstudie ergaben sich

- der Interessentyp A, der als naturwissenschaftlicher Typus bezeichnet wird, da sich Schüler*innen dieses Typs generell für viele naturwissenschaftliche Bereiche und auch Physik interessieren.
- der Interessentyp B, der als undifferenzierter Typus bezeichnet wird, weil sich Schüler*innen dieses Typs hauptsächlich für den Inhaltsbereich „Mensch und Natur“ interessieren, aber für kein Schulfach eine besondere Präferenz aufweisen.
- der Interessentyp C, der als geisteswissenschaftlicher Typus bezeichnet wird, da diese Fächer zu den Lieblingsfächern dieser Schüler*innen zählen und sie sich besonders für die gesellschaftlichen Aspekte der Physik interessieren.
- der Interessentyp D, der als interessenloser Typ bezeichnet wird, da er sich für keinen Interessenbereich begeistern kann.

Wie auch in Abbildung 2 dargestellt, decken sich die Interessentypen A-C weitgehend mit denen der IPN-Studie. Der vierte Interessentyp D kommt allerdings neu hinzu, der hauptsächlich von den Interessentypen B und C gespeist wird, die dementsprechend prozentuell abgenommen haben. Insgesamt gehörten ca. jeweils 15 % der Burschen und 15 % der Mädchen diesem vierten Typ an. Zwischen fünf und sechs Prozent der Befragten konnten nicht eindeutig einem Typus zugeordnet werden (vgl. Herbst u.a., 2016, S. 1-3).

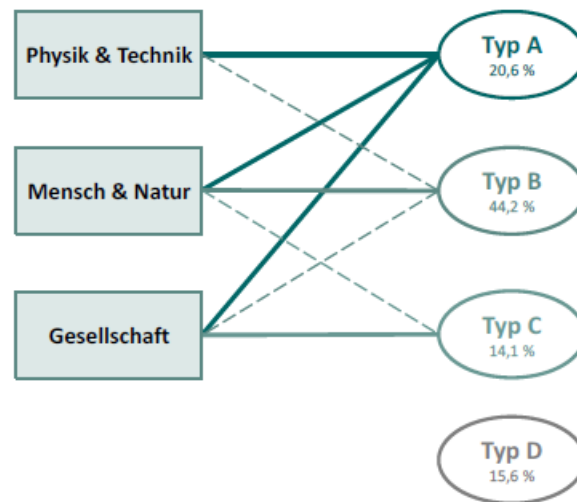


Abbildung 2: Verknüpfung der drei Interessenbereiche mit den vier Interessentypen (Herbst, u.a., 2016, S. 3)

Der Interessenbereich Mensch und Natur spricht 50 % der Schüler*innen an, weswegen man nach wie vor sagen kann, dass eine Orientierung des Physikunterrichts an diesem Bereich die meisten Schüler*innen anspricht.

Interessant ist, dass sich bei der Befragung zur Fächerbeliebtheit Physik auf Platz zwei eingefunden hat. Diese hohe Platzierung kommt hauptsächlich durch die häufige Nennung von Burschen (45 %) unter den drei Lieblingsfächern zustande. Allerdings reihen nur 13 % der Mädchen das Fach Physik an eine der ersten drei Stellen (vgl. Herbst u.a., 2016, S. 4-5).

1.1.3 Interesse als Ziel des Unterrichts

Dass das (fehlende) Interesse im und am Physikunterricht auch noch nach der IPN-Interessenstudie aktuell ist, legt außerdem eine Erhebung aus dem Jahr 2005 nahe. In Frankfurt am Main wurden in 22 Gymnasien die Lehrer*innen hinsichtlich dessen befragt, wie viele Schüler*innen das Unterrichtsfach Physik bis zur 12. Schulstufe auswählen. Es hat sich ergeben, dass bis zu diesem Zeitpunkt bereits 77,0 % der Mädchen und 42,4 % der Burschen das Fach Physik abgewählt haben. In der 13. Schulstufe sind es sogar 83,9 % der Mädchen und 59,1 % der Burschen. Entsprechend der Ergebnisse aus dieser Studie ist der Physikunterricht für sehr viele Schüler*innen nach wie vor uninteressant im Vergleich zu anderen Fächern und die Geschlechterdifferenzen zwischen Mädchen und Burschen konnten nicht ausgeglichen werden (vgl. Zwioerek, 2006, S. 73-74).

Abgesehen von den bereits genannten Gründen, die für eine Orientierung des Unterrichts an den Interessen der Schüler*innen sprechen, stellt sich außerdem die naheliegende Frage, ob

denn nun ein interessenorientierter Unterricht auch zu besseren Leistungen der Schüler*innen im Unterrichtsfach Physik führt. Diesbezüglich ist die Forschungslage nicht eindeutig:

In der IPN-Interessenstudie wurde festgestellt, dass es keinen Zusammenhang zwischen Sachinteresse und Physiknote gibt, wohl aber zwischen Fachinteresse und Physiknote. Daran ist positiv, dass auch leistungsschwache Schüler*innen für den Physikunterricht begeistert werden können (vgl. Häußler u.a., 1998, S. 128).

Der BLK-Modellversuch mit einem Stichprobenumfang von 12 Gymnasialklassen der 7. Schulstufe kam zu folgendem Ergebnis: Eine Orientierung des Unterrichts an den Interessen der Schüler*innen bewirkt es, den Motivationsrückstand der Mädchen für den Physikunterricht aufzuholen und ihr Vertrauen in die eigene Leistung zu stärken. Auch wenn die Wissensleistungen der Kontrollgruppe gleich gut sind wie die der interessenorientierten Gruppe, wird das Wissen über einen längeren Zeitraum behalten (vgl. Häußler u.a. 1998, S. 141). Insbesondere für Mädchen stellt der interessengeleitete Unterricht einen Vorteil dar. So können fehlende vor- und außerschulische Erfahrungen der Mädchen ausgeglichen werden, sowohl für Mädchen als auch für Burschen das Selbstbild erweitert werden und Geschlechterstereotype abgebaut werden (vgl. Hoffmann u.a., 1997, S. 28).

Nach einer Studie von Schiefele u.a. aus dem Jahr 1996 hängt ein Interesse am Gegenstand mit einer gesteigerten Lernmotivation und –leistung zusammen. Jedoch kann man im Umkehrschluss nicht unbedingt von guten Leistungen der Schüler*innen auf ein besonderes Interesse an dem Gegenstand schließen (vgl. Wegge, 1998, S. 58-59).

Die Förderung des Interesses soll aber nicht nur dazu dienen, Schüler*innen durch spannende Unterrichtsinhalte möglicherweise zu besseren Leistungen im Unterrichtsfach Physik zu verhelfen, sondern ein eigenständiges Unterrichtsziel darstellen. Das kann so argumentiert werden, dass es nur so wahrscheinlich ist, dass sich Schüler*innen auch nach der Schule mit physikalischen Inhalten auseinandersetzen (vgl. Wiesner u.a., 2011, S. 99). In anderen Worten formuliert könnte man auch sagen:

Es ist notwendig, daß [sic!] das Fach aus seinem fachsystematischen Gehäuse heraustritt, um anwendungsbezogene und fachübergreifende Aspekte aufzugreifen, die in einem direkten Bezug zum Menschen und zu seinen Lebensbedingungen stehen. Hierzu kann die Physik zwar nur Aspekte beisteuern; diese sind aber notwendiger Bestandteil einer umfassenden Sichtweise (Euler, 1982, S. 179).

Nach Euler liegen die Mängel des Physikunterrichts in der fehlenden Bezugnahme auf die Probleme der menschlichen Existenz. Ein möglicher Lösungsvorschlag liegt bei der Ergänzung

des konventionellen Unterrichts um Anwendungsbezüge und fächerübergreifende Inhalte (vgl. Euler, 1982, S. 179-180).

1.2 Der kontextorientierte Unterricht

Nach der konstruktivistischen Lerntheorie wird davon ausgegangen, dass die Schüler*innen ihr Wissen selbst auf Basis der in ihnen bereits vorhandenen Vorstellungen konstruieren. Daher ist es für den Unterricht von zentraler Bedeutung, die Präkonzepte der Schüler*innen zu kennen und in den Unterricht miteinzubeziehen. Lernen entspricht für die Schüler*innen einem Konzeptwechsel von ihren bisherigen Vorstellungen zu den wissenschaftlich anerkannten Vorstellungen (vgl. Widodo & Duit, 2004, S. 234).

Trotz der in Kapitel 1.1.2 vorgestellten, schon vor Jahrzehnten gewonnenen Erkenntnisse aus der Interessenforschung herrscht nach wie vor der traditionelle Physikunterricht in der Schule vor.

Für diese Art des Unterrichts wurde aber festgestellt, dass die Schüler*innen zwar Routineaufgaben zu physikalischen Inhalten lösen können, ihr Wissen aber nicht zur Lösung von Frage- und Problemstellungen aus dem Alltag anwenden können. Der Physikunterricht beschreibt vielmehr eine eigene Realität, in der Dinge gesehen, gehört und getan werden, die den Schüler*innen im täglichen Leben nicht begegnen. Das in der Schule erworbene Wissen kann von den Schüler*innen im Leben nicht angewandt werden, da seine praktische Nutzung im Physikunterricht nicht mitgelernt wird (vgl. Müller, 2006, S. 102-104). Ursache dafür kann sein, dass die Inhalte zu stark elementarisiert werden oder dass Dinge im Unterricht verwendet werden (z.B.: Materialien für Experimente), die den Schüler*innen im Alltag nicht begegnen (vgl. Girwidz & Berger, 2008, S. 5).

Die erfolgreiche Bearbeitung von Routineaufgaben, wie sie im traditionellen Physikunterricht angestrebt wird, entspricht nicht einer aktiven Generierung von Wissen im Sinne der konstruktivistischen Lerntheorie.

Es scheint daher wichtig, den Unterricht vom Fokus auf das laut Muckenfuß bezeichnete *Verfügungswissen* in Richtung des *Orientierungswissens* zu verschieben. Das Orientierungswissen bezeichnet eben die Kompetenzen, die notwendig sind, um das Verhältnis zwischen Mensch und Natur zu klären. Hierbei geht es darum, die Beziehung zwischen Mensch und Natur zu reflektieren, unter anderem den Eingriff des Menschen in die Natur bzw. die Chancen und die Auswirkungen technischer Anwendungen. Im Unterschied dazu bezeichnet das Verfügungswissen physikalische Gesetze, Definitionen und das Beherrschen fachlicher

Methoden (vgl. Muckenfuß, 1995, S. 65-67). Für den Unterricht haben sowohl das Verfügungswissen, als Vorbereitung auf naturwissenschaftliche Berufe, als auch das Orientierungswissen, zum kompetenten Debattieren und Handeln als Teil der Natur und menschlichen Gesellschaft, Bedeutung. Dennoch ist entsprechend der Interessenforschung der stärkere Einbezug des Orientierungswissens, etwa durch die Wahl eines Kontexts, in den die Unterrichtsinhalte eingebettet werden können, sinnvoll, um das Interesse der Schüler*innen am Unterricht zu stärken (vgl. Wiesner u.a., 2011, S. 103).

Lernen im Kontext ist hinsichtlich des Anspruchs auf die Konstruktion des Wissens durch den Lernenden selbst sehr gut geeignet, da Auszüge aus der Realität betrachtet werden, die zumeist komplex und vernetzt sind. Dadurch ergeben sich im Lernenden Fragestellungen, die durch neue physikalische Inhalte und Methoden geklärt werden können. Durch diesen Bezug zur Realität wird auch die Nützlichkeit und Bedeutung der Physik im Alltag deutlich (vgl. Bellardts u.a., S. 5). Wenn gänzlich anhand von authentischen Kontexten gelernt wird, ist die Physik nur das Werkzeug zur Lösung der Problemstellung (vgl. Müller, 2006, S. 104-105).

Der kontextorientierte Unterricht scheint somit hinsichtlich der bisherigen Forschung mehrere Fliegen mit einer Klappe zu schlagen. Somit wäre es naheliegend, dass diese Art des Unterrichtens schon längst konsequent an Schulen umgesetzt wird.

1.2.1 Vom kontextorientierten zum fächerübergreifenden Unterricht

Ein Kontext bezeichnet die Einbettung eines Inhalts oder einer Aufgabe in einen bestimmten Zusammenhang. Die Anwendungsorientierung dient dabei unter Umständen nur dem Ziel, fachliche Inhalte mit einer hübschen Verpackung zu vermitteln (vgl. Wiesner u.a., 2011, S. 129).

Bei einer konsequenten Kontextorientierung des Unterrichts hingegen werden Fächergrenzen häufig überschritten. Daher macht es Sinn, im Zuge der Einbettung physikalischer Inhalte in Kontexte zumindest die einfachste Form des fächerübergreifenden Unterrichts zu diskutieren. Im fächerübergreifenden Unterricht soll die Teilung der einzelnen naturwissenschaftlichen Disziplinen in die jeweiligen Unterrichtsfächer aufgebrochen werden. Es gibt verschiedene Formen des fächerübergreifenden Unterrichts, die mehr oder weniger Koordination der einzelnen Fachlehrer*innen untereinander bzw. organisatorischen Aufwand benötigen. Die vorgestellten Unterrichtskonzepte dieser Arbeit können der Form des fachüberschreitenden Unterrichts zugeordnet werden. Dabei werden die Grenzen des jeweiligen Fachs (z.B.: Physik) bei der Behandlung eines bestimmten Inhalts überschritten und auf die Erkenntnisse aus

anderen (naturwissenschaftlichen) Disziplinen zurückgegriffen. Die Themen, bei denen der fachüberschreitende Unterricht zum Tragen kommt, bezeichnen häufig Themen, die nicht strikt einem Fachbereich zugeordnet werden können (z.B.: Biophysik). Die Lehrperson selbst benötigt das entsprechende Wissen aus allen für die Behandlung des Themas relevanten Wissenschaften. Dabei kann die Lehrperson autonom arbeiten, d.h., es ist keine Kooperation mit Kolleg*innen notwendig (vgl. Häußler u.a., 1998, S. 44-45).

1.2.2. Argumente für und gegen den kontextorientierten Unterricht

Für den fächerübergreifenden Unterricht spricht, dass die Schüler*innen in dieser Form des Unterrichts mehr Selbstvertrauen in das eigene Können besitzen bzw. entwickeln, dass die fächerübergreifende Behandlung zu einer verantwortungsvolleren Haltung der Schüler*innen gegenüber der Natur führt und dass so die Interessensentwicklung an den jeweiligen Fachwissenschaften und auch Schulfächern unterstützt werden kann (vgl. Häußler u.a., 1998, S. 62).

Des Weiteren ist es einsichtig, dass zentrale Problemstellungen unserer Gesellschaft nicht an Fächergrenzen gebunden sind und somit Grenzüberschreitungen sogar als erwünscht gesehen werden können. Grob kann gesagt werden, dass der fächerübergreifende Bildungsinhalt das Verhältnis zwischen Mensch und Natur darstellt (vgl. Mikelskis, 2006, S. 15-16).

Im Jahr 2000 führte Berger eine Studie in der Sekundarstufe II durch, in welcher untersucht wurde, wie sich die Einbettung physikalischer Inhalte in medizinische Kontexte auf das Interesse und die Leistungen der Schüler*innen im Unterricht auswirken (vgl. Berger, 2002, S. 119). Dabei konnte festgestellt werden, dass die Schüler*innen den kontextorientierten Unterricht signifikant als interessanter einstufen, was von den Schüler*innen häufig so begründet wird, dass dieser einen Bezug zur Lebenswelt darstellt. Das individuelle Interesse an der Physik konnte so vor allem bei unterdurchschnittlich interessierten Schüler*innen angehoben werden, während sich für bereits interessierte Schüler*innen kein Unterschied ergab. Hinsichtlich der Leistung sind die Unterschiede der kontextorientierten Gruppe und der Kontrollgruppe je nach Gruppe unterschiedlich und die Ergebnisse somit nicht eindeutig. Es konnte somit kein Zusammenhang zwischen Leistung und Interesse festgestellt werden (vgl. Berger, 2002, S. 124-129).

Die Schüler*innen kommen mit einem Vorwissen in die Schule, das nicht auf einzelne Fächer beschränkt ist. Dadurch, dass gesellschaftliche Probleme immer verschiedene Disziplinen betreffen, bereitet der fächerübergreifende Unterricht auch besser auf das spätere Alltags- und

Berufsleben vor. Die Schüler*innen erwerben überfachliche Kompetenzen, sind motivierter im Unterricht und nehmen Informationen vernetzt auf. Außerdem können auch Mädchen mit dieser Form des Unterrichts stärker angesprochen werden (vgl. Labudde, 2008, S.10-11).

Trotz dieser Fülle an positiven Argumenten scheint die Realisierung des kontextorientierten Unterrichts in den meisten Fällen nicht hinreichend zu gelingen (vgl. Müller, 2006, S. 104-105). In einigen Studien wurde festgestellt, dass Fachinhalte in dieser Form des Unterrichts nicht hinreichend gelernt werden (vgl. Labudde, 2008, S.11). Des Weiteren werden häufig Kontexte mit dem Ziel gewählt, das Interesse der Schüler*innen zu steigern, die Fragestellungen sind in den entsprechenden Situationen aber häufig nicht realistisch. In diesem Fall spricht man von sogenannten *vorgeblichen Kontexten*. Um wichtige Konzepte vertiefend zu lernen, wäre es zudem von Bedeutung, die Einbettung eines Themas in verschiedene Kontexte vorzunehmen, was auch aus zeitlichen Gründen häufig nicht möglich ist. Oftmals entspricht das Lernen mit Kontexten nämlich einem episodenhaften Lernen und der große Zusammenhang kann nicht so erfolgreich hergestellt werden (vgl. Müller, 2006, S. 109-110).

Entsprechend dieser Ausführungen erscheint es am sinnvollsten, die Vorteile von Kontexten und Fachunterricht kombiniert zu nutzen, damit sich ein roter Faden durch den Unterricht zieht und dennoch nicht auf lebensnahe Inhalte verzichtet wird. Dabei muss beachtet werden, dass ein geeigneter Kontext gewählt wird, dass dieser korrekt elementarisiert und mit der Fachsystematik schlüssig verknüpft wird (vgl. Müller, 2006, S. 110-111). Muckenfuß bietet mit seinem Konzept der *Rahmenkontexte* eine Möglichkeit der Umsetzung im Unterricht. Dabei werden Kontexte aus der Lebenswelt mit physikalischen Sachstrukturen zu einem sinnstiftenden Ganzen verwoben (vgl. Muckenfuß, 1995, S. 270).

1.2.3 Kontextorientierte Aufgabenstellungen

Es reicht nicht aus, die Interessensbereiche der Schüler*innen zu kennen und den Physikunterricht um spannende Kontexte zu ergänzen bzw. diese sogar ins Zentrum des Unterrichts zu stellen (vgl. Duit & Mikelskis-Seifert, 2007, S. 6). Um den Physikunterricht nachhaltig zu verbessern, muss eine neue Aufgabenkultur entwickelt werden (vgl. Micic, 2015, S. 2).

Kontextaufgaben bezeichnen Aufgabenstellungen, die in der Lebenswelt verortet sind, womit die Schüler*innen erst eine Übersetzung aus der Alltagssituation in eine physikalische Sichtweise vornehmen müssen (vgl. Kauertz u.a., 2015, S. 642). Zunächst muss eine kontextorientierte Aufgabenstellung authentisch sein. Damit ist gemeint, dass die Lerninhalte

für den*die Schüler*in von Bedeutung sind (vgl. Nentwig & Waddington, 2005, S. 161). Hierbei geht es auch darum, bei der Aufgabenentwicklung die in Kapitel 2.2 bereits angesprochenen vorgeblichen Kontexte zu vermeiden. Die an die Schüler*innen gestellten Aufgaben sollen sich durch den gewählten Kontext ergeben. Es soll also nicht zunächst die Aufgabenstellung entwickelt und dann erst ein passender Kontext dafür gesucht werden. Für eine authentische Aufgabenstellung wird zuerst ein narrativer Anker, also ein erzählerischer Kontext, festgelegt, der aus dem Erfahrungsspektrum der Schüler*innen stammt. Ziel ist es, durch die Bearbeitung der Aufgabenstellungen in dem*r Schüler*in aktives Wissen zu generieren (vgl. Henning u.a., 2012, S. 1-2).

1.2.4 Biophysikalische Kontexte im Physikunterricht

Die Biophysik bezeichnet ein eher junges Teilgebiet der Physik, in dem physikalische Erklärungen für Vorgänge in lebenden Organismen gesucht werden. Die Biophysik hat sich aus den Teilgebieten Biomechanik, Blutströmung, Sinne und Nervenleitung heraus entwickelt. Heute befasst sie sich auch mit Erklärungen auf molekularer Ebene. Was die Biophysik zu einer komplexen Wissenschaft macht, ist die Tatsache, dass versucht wird, ein quantitatives Verständnis über die komplizierten Wechselwirkungen zwischen den biologischen Molekülen zu gewinnen. Ziel der Biophysik ist es, theoretische Modelle über biologische Systeme zum einen zu entwickeln und zum anderen mit den gefundenen experimentellen Daten in Einklang zu bringen. Da das Spektrum biophysikalischer Inhalte sehr breit ist, können nur ausgewählte Inhalte im Unterricht thematisiert werden. Nicht alle Inhalte sind außerdem dafür geeignet, schüler*innengerecht vereinfacht zu werden. Aus physikdidaktischer Hinsicht dient die Erschließung biophysikalischer Inhalte im Unterricht der Herstellung physikalischer Zusammenhänge und eventuell auch der Gewinnung von Erkenntnissen durch biophysikalische Experimente (vgl. Rädler u.a., 2015, S. 602). Ein besonderer Vorteil der Biophysik ist die Möglichkeit, einen kritischen Umgang mit Modellen zu erlernen. Für Schüler*innen kann es aber schwierig sein, sich das breite Spektrum an Größenordnungen vorzustellen, die in der Biophysik existieren. Außerdem gibt es neben der den Schüler*innen aus dem traditionellen Physikunterricht bekannten mathematischen Sprache und dem physikalischen Fachvokabular eine große Menge an neuen Namen und Begriffen. Daher ist es wichtig, bei der Erschließung eines biophysikalischen Themas kleinschrittig zu arbeiten und nur selektiv neue Begriffe einzuführen. Die Biophysik kann außerdem dazu genutzt werden, physikalische Inhalte im Unterricht weiter zu vertiefen (vgl. Rädler u.a., 2015, S. 628-630).

1.3 Begabungsförderung im Physikunterricht

Da die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Aufgabenstellungen an begabten Physikschrüler*innen getestet wurden, die entweder gute schulische Leistungen im Unterrichtsfach aufweisen und/oder an Programmen für Begabungsförderung teilnehmen (z.B.: Physikolympiade), wird in diesem Kapitel noch einmal exemplarisch auf Modelle zur Begabungsentwicklung (vgl. Kapitel 1.3.1), Förderansätze für den Schulunterricht (vgl. Kapitel 1.3.2) und die Physikolympiade als ausgewählte schulische Fördermöglichkeit (vgl. Kapitel 1.3.3) eingegangen.

Zur Definition des Begabungsbegriffs gibt es zum einen die *Begabungsförderung*, die *Begabtenförderung* und das *Begaben*. Die Begabungsförderung stellt die Begabung der Person in den Vordergrund, die gefördert wird, was in bestimmten Fähigkeiten und Leistungen resultieren soll. Bei der Begabtenförderung wird der Fokus in Richtung der Person selbst verschoben, die die jeweilige Begabung besitzt. Es werden auch Einflüsse (z.B.: Persönlichkeit oder soziales Umfeld) berücksichtigt, die scheinbar nicht direkt mit der Begabung in Zusammenhang stehen. Das Begaben meint die Handlungen, die gesetzt werden können, um in Menschen die im Ansatz vorhandenen Fähigkeiten zur Entfaltung zu bringen. Im richtigen Umgang mit den Personen entdecken sie ihre Begabungen selbst und leben diese auch aus (vgl. Oswald, 2002, S. 1).

Im Rahmen dieser Arbeit wird auf das Konzept des Begabens Bezug genommen, da hier Begabung als Prozess gesehen wird und nicht als statisches Merkmal einer Person. So kann Begabung entwickelt und entfaltet werden (vgl. Oswald, 2002, S. 5).

1.3.1 Modelle zur Begabungsentwicklung

In den hier vorgestellten Modellen wird auf unterschiedliche Faktoren eingegangen, die für die Entwicklung einer Begabung förderlich oder hinderlich sein können.

Die Begabungsforschung stand lange in engem Zusammenhang mit der Intelligenzforschung. Joseph S. Renzulli stellte 1978 das Drei-Ringe-Konzept vor, das zeigt, dass es für eine Begabung nicht ausreicht, überdurchschnittliche Fähigkeiten zu besitzen. Auch Kreativität und Motivation spielen eine wichtige Rolle und erst in der Schnittmenge dieser drei Bereiche findet sich die Begabung (vgl. Abbildung 3).

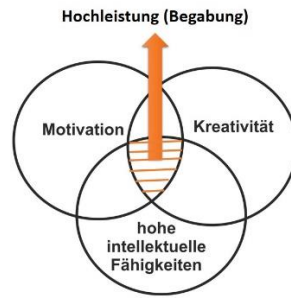


Abbildung 3: Drei-Ringe-Konzept nach Renzulli (Hänsel, o. J.)

Das Drei-Ringe-Konzept wurde von Franz Mönks im Jahr 2000 zum Triadischen Interdependenzmodell weiterentwickelt, sodass nun auch die wichtigsten Umweltfaktoren, wie Familie, Freunde und Schule als mögliche Einflüsse auf die Begabung wahrgenommen werden (vgl. Abbildung 4).

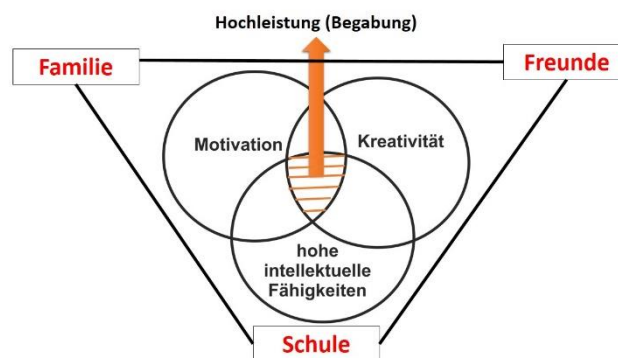


Abbildung 4: Triadisches Interdependenzmodell nach Mönks (Hänsel, o.J.)

Von Kurt Heller wurde 1998 das Münchner Hochbegabungsmodell (vgl. Abbildung 5) erstellt, das eine detaillierte Zusammenfassung der wesentlichen Einflussgrößen für die Begabungsentwicklung darstellt. Die Unterteilung erfolgt in vier Bereiche, die jeweils weiter in Faktoren untergliedert werden. Als Ausgangspunkte werden die Begabungsfaktoren gesehen, die unter günstigen Umweltmerkmalen und nicht-kognitiven Persönlichkeitsmerkmalen zu einer Begabung in bestimmten Leistungsbereichen führen können (vgl. Heller, 2001, S. 24).

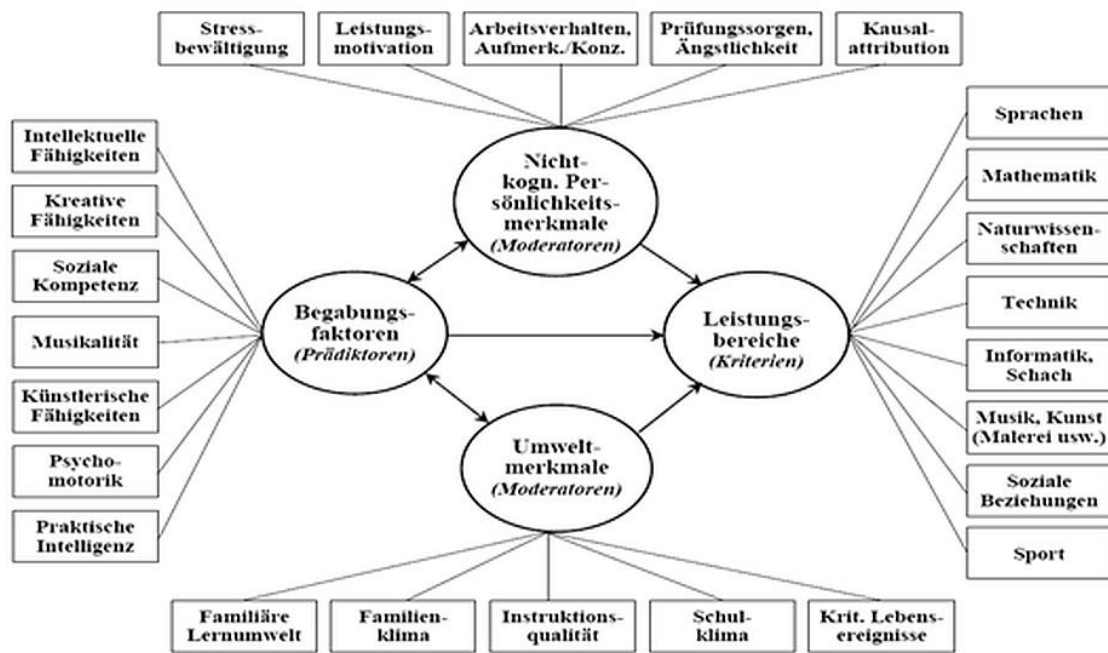


Abbildung 5: Münchner Hochbegabungsmodell (Sauerhering nach Heller & Perleth o. J.)

1.3.2 Begabungsförderung im schulischen Bereich

Wenn es darum geht, begabte Kinder im Schulbereich zu fördern, kann man entweder den Ansatz des *Enrichment* oder der *Acceleration/Akzeleration* wählen.

Enrichment meint zusätzliche Angebote für die Schüler*innen in einem gewissen Gegenstand entsprechend der jeweiligen Interessen (vgl. Auzinger & Oswald, 2002, S.1). Nach Richter ist Enrichment ein „Lehrangebot über den Rahmen des Lehrplanes hinaus“ (Richter, 2000, S. 45). Genauer formuliert kann das eine Erweiterung der Inhalte des Lehrplans (in die Breite), eine detailliertere Behandlung der Inhalte (in die Tiefe), eine schnellere Bearbeitung der Inhalte (Tempo) oder eine andere Behandlung der Inhalte (Darbietungsweise) entsprechend der Begabungen und Interessen der Schüler*innen bedeuten. Wie bereits angeklungen ist, bildet die individuelle und differenzierte Auseinandersetzung mit den Schüler*innen den Kern dieses didaktischen Zugangs (vgl. Richter, 2000, S. 45).

Die wörtliche Übersetzung des Begriffs Acceleration (Beschleunigung) führt zu falschen Vorstellungen darüber, was mit diesem Konzept gemeint ist und ist mit dem physikalischen Konzept nicht kompatibel. Hier ist damit ein höheres Tempo gemeint. Aus Sicht des Kindes geht es darum, entsprechend seines individuellen Lernfortschritts bzw. aufgrund seiner persönlichen Entwicklung die passenden Lehrplaninhalte zu erfüllen (vgl. Benbow, 1993, S. 25). Das kann eben auch bedeuten, dass einzelne Schulstufen von den Schüler*innen übersprungen werden. Möglichkeiten zur Umsetzung der Acceleration wären ein früherer

Eintritt in das Schulwesen, das Überspringen einer Klasse, schnelleres Voranschreiten im Lehrplan oder in bestimmten Fächern, früherer Abschluss von Schule oder Studium und Fernkurse (vgl. Richter, 2000, S. 45). Diese Angebote stoßen zuweilen auf Kritik, da so argumentiert wird, dass die soziale Entwicklung nicht unbedingt mit der intellektuellen im Einklang steht und so die Schüler*innen anderweitige Nachteile haben, wenn sie nicht mit Gleichaltrigen zusammenarbeiten können. Einige Studien aus dem Bereich der „Olympiaden“ haben jedoch ergeben, dass es für die Schüler*innen von größerer Bedeutung ist, mit Kindern und Jugendlichen zusammenzuarbeiten, die sich für ähnliche Dinge wie sie interessieren (vgl. Auzinger & Oswald 2002, S. 3).

1.3.3 Die österreichische Physikolympiade (ÖPhO)

Eine Möglichkeit zur Förderung interessierter und begabter Schüler*innen im Physikunterricht ist die Physikolympiade. Sie bezeichnet ein Wettbewerbsformat, das vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung veranstaltet wird (vgl. BMBWF, 2018). Als Vorbereitung für die jährlich stattfindenden Wettbewerbe wird an vielen höheren Schulen die unverbindliche Übung „Physikolympiade“ mit zwei Wochenstunden angeboten (vgl. ÖPhO, 2020). In diesem Kurs werden physikalische Inhalte vertieft und Kompetenzen erweitert (vgl. BMBWF, 2018). Jedes Jahr findet im zeitigen Frühjahr zunächst ein interner Kurswettbewerb statt (vgl. ÖPhO, 2020). Der*die jeweilige Kursleiter*in erstellt die Aufgaben selbst, die von den Teilnehmer*innen bearbeitet werden (vgl. BMBWF, 2018). Die drei Schüler*innen, die am besten abschneiden, nehmen am Landeswettbewerb teil, dessen Sieger*innen dürfen am folgenden Bundeswettbewerb teilnehmen. Für den Landeswettbewerb werden die Aufgaben derzeit von der Universität Linz bzw. Graz nach internationalen Maßstäben erstellt (vgl. ÖPhO, 2020). Für den Bundeswettbewerb gibt es eigene Vorbereitungskurse im Juni und die qualifizierten Schüler*innen werden von der Schule freigestellt (vgl. BMBWF, 2018). Die fünf Besten des Bundeswettbewerbs wiederum nehmen an internationalen Wettbewerben teil, wo Kandidat*innen aus mehr als 80 Nationen vertreten sind (vgl. ÖPhO, 2020). Neben dem Gewinn von Urkunden, Medaillen und diverser Sachpreise lernen die Schüler*innen Gleichgesinnte aus vielen Nationen kennen und erwerben in den Olympiade-Kursen wertvolles Wissen für die weitere schulische und mögliche berufliche Karriere (vgl. BMBWF, 2018).

2 DIDAKTISCHE GRUNDLAGEN

Physikalische Inhalte besitzen eine Sachstruktur (und natürlich gilt das auch für biophysikalische Inhalte). Diese Sachstruktur kennzeichnet die Gliederung der fachlichen Inhalte. Dabei geht es nicht nur allein um Theorien, Modelle und Prinzipien und die dafür relevanten Begrifflichkeiten und Formelzeichen, sondern auch um die Methoden, die Arbeitsweisen und die Natur der jeweiligen Disziplin. Die Inhalte besitzen eine große Summe an Bausteinen, die auf vielfältige Weise miteinander verknüpft sind. In den Wissenschaften wird zudem mit abstrakten Begriffen gearbeitet, die sich auf die Realität beziehen, selbst aber nicht real, sondern ideell sind (vgl. Reinhold, 2006, S. 90-91). Um eine angemessene Unterrichtseinheit für Schüler*innen zu gestalten, muss die Sachstruktur der jeweiligen Wissenschaft berücksichtigt und elementarisiert werden. Was bei der Elementarisierung von fachlichen Inhalten beachtet werden muss, wird in Kapitel 2.1 näher ausgeführt. Um die elementarisierten Inhalte sinnvoll in eine bestimmte Unterrichtssituation einzubetten, wird ausgehend von den jeweiligen Unterrichtszielen und den Rahmenbedingungen des Unterrichts eine Didaktische Analyse der geplanten Unterrichtssequenz erstellt (vgl. Kapitel 2.2). Im Zuge der Didaktischen Analyse ist es auch von Bedeutung, den Unterricht entsprechend der Lernendenvorstellungen bzw. entsprechend des Vorwissens und der Interessen der Schüler*innen (vgl. Kapitel 1.1) zu gestalten. Im Kapitel 2.3 werden die didaktischen Hintergründe zur Erstellung einer Aufgabenstellung erläutert. Dabei wird auf verschiedene Arten von Aufgabenstellungen eingegangen und in welchen Phasen des Unterrichts diese sinnvoll eingesetzt werden können. Es wird ein Analyseraster vorgestellt (vgl. Kauertz u.a., 2015), dementsprechend die Merkmale von Aufgabenstellungen bestimmt und Qualitätskriterien für Aufgabenstellungen festgelegt werden können.

2.1 Elementarisierung

Nach Comenius könne jeder Sachverhalt so präsentiert werden, dass ihn jede*r (also auch jede*r Schüler*in) nachvollziehen kann (vgl. Reinhold, 2006, S. 86). Da physikalische Sachinhalte mitunter sehr komplex sind, müssen sie für die Schüler*innen vereinfacht und komprimiert dargestellt werden. Dabei werden die zentralen Inhalte eines Themas in elementare Sinneinheiten unterteilt (vgl. Wiesner u.a., 2011, S. 72). Bei der Elementarisierung wird das Wissen, das den Schüler*innen später vermittelt wird, aktiv generiert, indem der Sachinhalt zunächst vereinfacht und auf seine Kernaussagen reduziert und später von der Lehrperson mit

Einschränkung auf das Wichtigste wieder konstruiert wird. Dieser Vorgang wird *didaktische Rekonstruktion* genannt (vgl. Kircher u.a., 2015, S. 108). Für das Verständnis der Schüler*innen ist außerdem von Bedeutung, dass das Gelernte in *Chunks*, sogenannten zusammenfassenden Sinneinheiten, präsentiert wird, die flexibel in verschiedenen Kontexten angewandt werden können (vgl. Wiesner u.a., 2011, S. 74). Damit ist nicht gemeint, dass einzelnen Lernelemente einfach in ihre Bestandteile zerlegt werden, sondern in Erklärungseinheiten, die es ermöglichen, dass Verbindungen zwischen den einzelnen Einheiten hergestellt werden können (vgl. Kircher u.a., 2015, S. 109). Da die fachdidaktische Aufbereitung eines Themengebiets entsprechend bestimmter Unterrichtsziele vorgenommen wird, die selten in einer einzelnen Unterrichtsstunde erreicht werden können, ist es von Bedeutung, die transportierten Inhalte auch methodisch sinnvoll zu sequenzieren (vgl. Wiesner u.a., 2011, S. 74). Wie auch in Abbildung 6 dargestellt, stellt die Elementarisierung mit ihren Einzelschritten das Verbindungsglied zwischen der Sachstruktur der Physik und der Sachstruktur des Physikunterrichts dar. Bei der Elementarisierung sind (wie bereits angedeutet) die Ziele des Unterrichts und die Lernvoraussetzungen der Schüler*innen miteinzubeziehen.

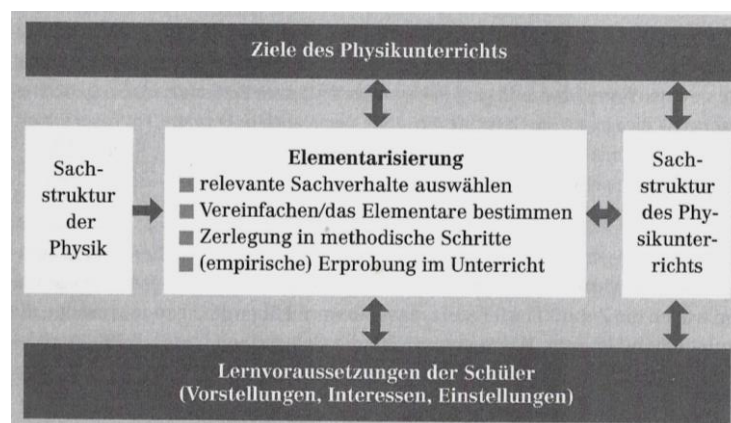


Abbildung 6: Modell der Elementarisierung (Reinold, 2006, S. 86)

Um auf das adressatenbezogene Vorwissen und die Aufnahme- und Leistungskapazität der Schüler*innen Rücksicht zu nehmen, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Exemplarisch wird an dieser Stelle die Beschränkung auf Phänomene und experimentelle Ergebnisse, auf zielrelevante Aspekte, auf qualitative Aussagen, auf Musterbeispiele oder auf Prinzipien genannt. Des Weiteren ist es sinnvoll, weniger relevante Einflüsse bei der Erklärung zu vernachlässigen und einfache Begriffe zu verwenden bzw. nur eingeschränkt neues Fachvokabular einzuführen. Für viele Schüler*innen sind anschauliche Darstellungen, wie etwa Bilder oder Grafiken, eine zusätzliche Unterstützung (vgl. Wiesner u.a., 2011, S. 72-73).

Eine wichtige Orientierungshilfe bei der Elementarisierung ist, dass die Inhalte fachgerecht vermittelt werden (vgl. Wiesner u.a., 2011, S. 74). Fachgerecht bedeutet in diesem Fall nicht nur fachlich richtig, sondern fachlich relevant (vgl. Kircher u.a., 2015, S. 112).

Somit steht im Vordergrund, dass das bereits Gelernte für aufbauende Inhalte anschlussfähig ist, es muss aber nicht in jeder Lernphase bis ins Detail korrekt sein. Dies entspricht auch der Forderung nach einer schülergemäßen Vermittlung des Wissens, indem auf den Entwicklungsstand der Lernenden und Schülervorstellungen eingegangen wird (vgl. Wiesner u.a., 2011, S. 75-76). Wichtig ist, dass bei der Einbettung des Inhalts in einen Kontext ebenfalls darauf geachtet wird, dass dieser den kognitiven, affektiven und soziokulturellen Voraussetzungen der Schüler*innen entspricht (vgl. Reinhold, 2006, S. 90).

2.2. Didaktische Analyse

Bei der didaktischen Aufbereitung eines Sachverhalts steht im Zentrum die Frage, welche unterrichtlichen Ziele mit der Behandlung der ausgewählten Inhalte verfolgt werden sollen. Von dieser Frage geht die weitere Planung des Unterrichts in Form einer *Didaktischen Analyse* aus. Das Konzept der Didaktischen Analyse stammt ursprünglich vom Erziehungswissenschaftler Wolfgang Klafki (vgl. Klafki, 1963) und wurde für die Physikdidaktik adaptiert (vgl. Kircher, 2015, S. 76-77). Zunächst wird der Sachinhalt hinsichtlich der gesellschaftlichen Relevanz und des Beitrags zur Erhaltung der Natur reflektiert. Schon mit dieser ersten Zielorientierung werden zwingend die Grenzen der Physik übertreten und ein fachüberschreitender Unterricht (vgl. Kapitel 1.2) nahegelegt. Im Anschluss wird das Thema hinsichtlich der Bedeutung für die Schüler*innen, insbesondere hinsichtlich ihrer Interessen (vgl. Kapitel 1.1) und hinsichtlich seiner Bedeutung für die Zukunft analysiert. Schließlich wird der Inhalt entsprechend der inneren Struktur der Physik als Wissenschaft aufbereitet (vgl. Kircher, 2015, S. 80). Folgender Raster (vgl. Tabelle 1) zeigt überblicksmäßig die verschiedenen Kategorien, die zur Erstellung einer Didaktischen Analyse für den Physikunterricht relevant sind.

UNTERRICHTSPLANUNG zum Thema „XY“, Klasse bzw. Schulstufe:
SCHLÜSSELBEGRIFF(E) der Unterrichtseinheit/-sequenz:
Was sollen Schüler*innen am Ende der gesamten Unterrichtssequenz/der Unterrichtseinheit wissen/können? (GROBZIELE)
WARUM sollen Schüler*innen das lernen? (Relevanz für die Gegenwart, Schüler*innen, Wissenschaft, Zukunft und Gesellschaft) Verankerung der Ziele im Lehrplan:
Elementare GRUNDIDEEN
Sachstruktur & Unterrichtsideen
Mit welchen Lernendenvorstellungen ist bei diesem Thema zu rechnen?
Welche Interessen könnten Schüler*innen zu diesem Thema haben?

Tabelle 1: Raster zur Didaktischen Analyse (vgl. Bartosch, 2017)

Das ausgewählte Schema zur Didaktischen Analyse für den Physikunterricht beginnt zur Verortung mit den Rahmenbedingungen der Unterrichtssequenz (Benennung des jeweiligen Unterrichtsthemas und der Schulstufe, für die die Umsetzung des Themas vorgesehen ist). Als begrifflicher Rahmen werden einige wenige Schlüsselbegriffe festgelegt, die zur Bearbeitung des Themas relevant sind. Im Anschluss folgen die Grobziele der Unterrichtssequenz, die näher beschreiben, was die Schüler*innen nach der Unterrichtssequenz wissen und können sollten. Eine Unterrichtssequenz meint hier in der Regel mehrere aufeinanderfolgende Unterrichtseinheiten. In der nächsten Kategorie erfolgt die Begründung, warum es für die Schüler*innen von Bedeutung ist, die entsprechenden Inhalte zu lernen. Diese Begründung kann über die Relevanz des Themas für gegenwärtige oder zukünftige Fragestellungen erfolgen, für die Wissenschaft bzw. Forschung, für die Gesellschaft oder über die Relevanz im Leben der Schüler*innen selbst begründet werden. Die Bedeutung des Themas wird zusätzlich über einen

Lehrplanbezug für die jeweilige Schulstufe begründet. Die elementaren Grundideen bezeichnen die zentralen Inhalte des Themas und reduzieren dieses auf seinen Kern. Im folgenden Abschnitt der Didaktischen Analyse werden die Sachstruktur des Themas schrittweise dargelegt und zum jeweiligen Unterthema entsprechende Unterrichtsideen gesammelt. Um die Lernvoraussetzungen der Schüler*innen angemessen zu berücksichtigen, beschäftigt sich die nächste Kategorie mit den Schülervorstellungen zum jeweiligen Unterrichtsthema. Im abschließenden Bereich wird auf die möglichen Interessen der Schüler*innen am Themenbereich eingegangen.

2.3 Aufgabenentwicklung im Physikunterricht

Aufgabenstellungen sind Kernelemente des Unterrichts und eng mit dessen Struktur und Aufbau verbunden. Eine Aufgabenstellung bezeichnet eine eingegrenzte Handlungsanweisung, die die Schüler*innen zu einer aktiven Auseinandersetzung mit einem bestimmten physikalischen Inhalt anregt (vgl. Wiesner u.a., 2011, S.123). Jede Handlungsaufforderung bezeichnet eine eigene Aufgabe. Wenn es sich um mehrere Arbeitsaufträge handelt, die zueinander im Bezug stehen oder sich auf dieselbe Angabe beziehen, werden diese als Teilaufgaben einer größeren Gesamtaufgabe angesehen (vgl. Kauertz & Fischer, 2010, S. 665). Durch Aufgabenstellungen werden die Anforderungen und Erwartungen der Lehrperson an die Schüler*innen vermittelt und diese können auf unterschiedliche Weise darauf reagieren (z.B.: kognitiv, affektiv, emotional). Eine Aufgabenstellung besteht aus einem Aufgabentext, in dem die notwendigen Informationen zu Bearbeitung der Aufgabenstellung bereitgestellt werden, aus einer Handlungsaufforderung an die Schüler*innen (durch Operatoren), aus dem Weg zur Lösung der Aufgabe und schließlich aus dem Ergebnis. Die Lehrperson entwickelt je nach Offenheit der Aufgabenstellung einen mehr oder weniger detaillierten Erwartungshorizont für den Lösungsweg und die Lösung der Aufgabenstellung (vgl. Kauertz u.a., 2015, S. 452-453). Gute Aufgabenstellungen motivieren Lernprozesse in den Schüler*innen und helfen entscheidend dabei, den gesamten Unterricht zu verbessern (vgl. Wiesner u.a., 2011, S. 123). Daher sollen Aufgabenstellungen eine zentrale Funktion im Unterricht erhalten und nicht nur zur Festigung von Lerninhalten bzw. zur Wissensüberprüfung (z.B.: in Form eines Tests) eingesetzt werden. Aufgabenstellungen eignen sich für jede Unterrichtsphase, da es bei der Gestaltung von Aufgabenstellungen vielfältige Möglichkeiten gibt (vgl. Wiesner u.a., 2011, S. 130-131).

2.3.1 Lern- und Testaufgaben

Im Wesentlichen werden Aufgaben in *Lern- und Testaufgaben* gegliedert. Lernaufgaben verfolgen unterschiedliche Ziele, wie etwa die Erarbeitung eines neuen Inhalts, die Übung eines bereits gelernten Inhalts, die Anwendung eines Inhalts auf einen neuen Kontext oder den Transfer des Wissens. Testaufgaben dienen der Überprüfung bereits erreichter Lernziele in Form von Verständnisaufgaben und Testaufgaben (vgl. Kauertz u.a., 2015, S. 452).

Lern- und Testaufgaben werden somit in verschiedenen Phasen des Unterrichts bzw. des Lernprozesses eingesetzt. Exemplarisch werden die Erarbeitungsphase und die Transferphase näher ausgeführt, die für diese Arbeit am relevantesten sind, in denen Lernaufgaben verwendet werden, die den Unterricht steuern.

In der *Erarbeitungsphase* sollen Aufgabenstellungen den Prozess des Verstehens neuer Inhalte unterstützen und die Schüler*innen darauf aufmerksam machen, was noch vertieft werden sollte (vgl. Kauertz u.a., 2015, S. 457). In dieser Phase bilden häufig die Schülervorstellungen den Ausgangspunkt für die Entwicklung der Aufgabenstellung. Vor allem in dieser Phase ist die Reihenfolge der gestellten Aufgabenstellungen entscheidend, damit der Lernprozess gut voranschreiten kann (vgl. Kauertz & Fischer, 2010, S. 672-674).

In der *Transferphase* haben Aufgabenstellungen im Gegensatz dazu zum Ziel, bereits Gelerntes auf interessante Gegebenheiten aus dem Alltag oder andere spannende Kontexte zu übertragen und dienen den Schüler*innen zur Rückmeldung, inwieweit sie das Konzept verstanden haben. Allerdings sind diese Aufgabenstellungen unter Umständen komplex, da zum einen eine Vernetzung durch die Schüler*innen erforderlich ist und zum anderen unterschiedliche Lösungswege möglich sind, da reale Situationen vielschichtig sind (vgl. Kauertz u.a., 2015, S. 457). In dieser Phase werden die Grenzen der Erklärungen bedingt durch Schülervorstellungen deutlich (vgl. Kauertz & Fischer, 2010, S. 675).

Es ist im Wesentlichen durch die Lerngruppe und den zuvor gehaltenen Unterricht bestimmt, um welche Art der Aufgabenstellung es sich handelt. Dieselbe Aufgabenstellung kann je nachdem, wie genau und auf welche Art und Weise ein Thema bereits behandelt wurde, für manche Klassen einen Transfer des Wissens erfordern, für andere Gruppen, die an ähnliche Aufgabenstellungen zu diesem Thema bereits gewöhnt sind, nur noch eine Reproduktionsaufgabe darstellen (vgl. Wiesner u.a., 2011, S. 125).

Lernaufgaben sollen es den Schüler*innen ermöglichen, viele verschiedene Kompetenzen zu entwickeln, Querverbindungen zu bisher Behandeltem herzustellen und Ausgangspunkt für weitere Vertiefung sein. Je nach Vorwissen der Schüler*innen können zur Bearbeitung der

Aufgaben gezielte Hilfestellungen angeboten werden. Wenn es um die Leistungsmessung geht, gilt es, in den Testaufgaben auch die Kompetenzen abzufragen, die in der Lernphase erarbeitet und geübt wurden. Die Leistungsmessung muss vom restlichen Unterricht getrennt stattfinden, damit für die Schüler*innen transparent ist, wann Fehler nicht erlaubt sind und wann sie sogar als notwendig und förderlich wahrgenommen werden (vgl. Kauertz & Fischer, 2010, S. 663-664).

2.3.2 Merkmale von Aufgabenstellungen

Merkmale sind für Aufgabenstellungen von Bedeutung, um in der Vielfalt unterschiedlichster Aufgabenstellungen Aufgaben zu kategorisieren und ihre Qualität zu beurteilen. Wie die einzelnen Aspekte gestaltet werden, ist dadurch bestimmt, welche Ziele durch die Bearbeitung der jeweiligen Aufgabenstellung erreicht werden sollen. Es muss daher auch immer erfragt werden, ob eine Aufgabenstellung tatsächlich zur Überprüfung des gesetzten Ziels geeignet ist (vgl. Kauertz u.a., 2015, S. 454-456).

Im Folgenden werden die unterschiedlichen Aspekte aufgezählt, durch welche sich physikalische Aufgabenstellungen charakterisieren lassen:

- Formale Aspekte: Diese beinhalten die äußeren Merkmale der Aufgabe, wie die bereitgestellten Informationen in Form von Bildern, Diagrammen o.Ä., die zur Lösung der Aufgaben notwendigen Materialien (z.B.: für Versuche), den Kontext der Aufgabenstellung, die möglichen Lösungswege und die Art des Antwortformats (vgl. Kauertz u.a., 2015, S. 455). Bei den Lösungswegen kommt es zum einen auf die Art der Lösungswege an (experimentell, halbquantitativ, rechnerisch, theoretisch) und zum anderen auf die Offenheit der Aufgabenstellung, die die Anzahl der möglichen Lösungswege bezeichnet. Das Antwortformat kann somit offen oder geschlossen sein (vgl. Kauertz und Fischer, 2010, S. 668-669).
- Inhaltliche Aspekte: Sie referieren auf das Thema der Aufgabenstellung sowie dessen Einbettung im Lehrplan und die inhaltliche Komplexität der Aufgabe, die auch mit dem Maß an Formalität zusammenhängt (vgl. Kauertz u.a., 2015, S. 455).
- Benötigte Fähigkeiten: Sehr wichtig ist es auch, bei der Entwicklung einer Aufgabenstellung das notwendige Vorwissen bzw. die notwendigen Kompetenzen der Schüler*innen zu berücksichtigen (vgl. Kauertz u.a., 2015, S. 455). Möglicherweise zur Bearbeitung einer Aufgabenstellung notwendige Kompetenzen wären die

Diagrammkompetenz, die Rechenkompetenz, das Verständnis formalisierter Gesetze und das konvergente Denken. Diese Kompetenzen entwickeln sich erst durch länger andauernde Lernprozesse und dürfen nicht vorausgesetzt werden (vgl. Kauertz & Fischer, 2010, S. 671-672). Das Vorwissen der Schüler*innen, das in Form von Schülervorstellungen den Lernvorgang (durch aus dem Alltag erworbene, fachlich nicht korrekte Präkonzepte) erschweren kann, muss bei der Entwicklung von Aufgabenstellungen mitberücksichtigt werden (vgl. Kauertz & Fischer, 2010, S. 674).

- Bezug auf Lern- und Testsituation: Des Weiteren ist zu bedenken, dass die Aufgabenstellung der Situation angemessen ist, in der sie im Unterricht eingesetzt werden soll (vgl. Kapitel 2.3.1).

In Tabelle 2 werden die zuvor aufgezählten Merkmale einer Aufgabenstellung zusammengefasst dargestellt.

Analyse einer Aufgabenstellung	
Formale Aspekte	
Unterrichtsphase/ Testsituation	
Anzahl der Lösungswege/Offenheit	
Antwortformat	
Experimenteller Anteil	
Statistische Güte	
Inhaltsbezogene Aspekte	
Komplexität	
Curricularer Bezug	
Verfügbarkeit von Fachwissen	
Basiskonzept/Leitidee	
Fähigkeitsbezogene Aspekte	
Kompetenzbereich	
Kompetenzstufung	
Kognitive Aspekte	
Beziehung zu Lern-/Testsituationen	
Bezug Schülervorstellungen	
Kontextualisierung	
Beziehung zu umgebenden Aufgaben	

Tabelle 2: Merkmale von Aufgabenstellungen (Kauertz u.a., 2015, S.461)

2.3.3 Qualität von Aufgabenstellungen

Für die Qualität einer Aufgabenstellung im Unterricht ist es von Bedeutung, ob die Aufgabenstellung zum Leistungsniveau der jeweiligen Schüler*innengruppe passt, d.h., dass weder zu viel noch zu wenig von den Schüler*innen verlangt wird. Es ist wichtig, dass die Schüler*innen bei der Bearbeitung einer Aufgabenstellung immer wieder Erfolgserlebnisse haben. Den Schüler*innen muss außerdem deutlich gemacht werden, welches Ziel durch die Bearbeitung der Aufgabenstellung erreicht werden soll (erarbeiten, üben, überprüfen, usw.) (vgl. Wiesner u.a., 2011, S. 125).

Des Weiteren muss die Aufgabenstellung zur verwendeten Theorie passen und sowohl in Hinblick auf fachliche als auch in Hinblick auf fachdidaktische Aspekte adäquat sein. Die Aufgabenstellung muss nicht bis ins Detail fachlich genau sein, sondern darf didaktisch an die Schüler*innen angepasst werden. Es dürfen jedoch auch keine falschen Informationen und Hilfestellungen vermittelt werden. Es ist wichtig, die Grenzen des verwendeten Modells bewusst zu machen. Die Aufgabenstellung muss so formuliert sein, dass den Schüler*innen eindeutig ist, was zu tun ist und sie der konkreten Aufforderung auch nachgehen. Das bedeutet, dass die Aufgabenstellung entsprechend des Vorwissens sprachlich verständlich ist. Im Groben kann man sich daran orientieren, Arbeitsaufträge so präzise wie möglich zu formulieren (vgl. Kauertz u.a., 2015, S. 465-466).

Detaillierter wurden nach Schüttler (1994) einige Kriterien festgelegt, die einen Text für den*die Leser*in leichter verständlich machen (vgl. Kauertz u.a., 2015, S. 466):

- Kognitive Strukturierung: z.B.: Gliederung des Textes, Markierung und Kennzeichnung wichtiger Textstellen, Zusammenfassung wichtiger Informationen
- Sprachliche Einfachheit: z.B.: einfacher Satzbau, einfache Sprache, keine Passiv-Konstruktionen, wenige Nominalisierungen
- Semantische Redundanz: Paraphrasierung der gegebenen Informationen
- Kürze und Prägnanz: Balance zwischen notwendigen Informationen und notwendiger sprachlicher Gestaltung

3 AUFGABENENTWICKLUNG

Im folgenden dritten Kapitel wird die Entwicklung zweier biophysikalischer Aufgabenstellungen vorgenommen, wobei sich die erste Aufgabenstellung mit der Biophysik der Nervenzelle beschäftigt und die zweite Aufgabenstellung mit der Energiezufuhr und -abgabe durch Säugetiere unterschiedlicher Größenordnungen. Die erste Aufgabenstellung behandelt den physikalischen Inhalt des Kondensators und dessen Funktion in einem elektrischen Schaltkreis und die zweite Aufgabenstellung den physikalischen Inhalt des Energieerhaltungssatzes. Auf Basis der Erkenntnisse aus der Interessenforschung (vgl. Kapitel 1.1) wurden diese Inhalte jeweils in einen biophysikalischen Kontext (vgl. Kapitel 1.2) eingebettet. Im ersten Schritt zur Entwicklung der beiden Aufgabenstellungen werden jeweils die relevanten fachlichen biophysikalischen Inhalte ermittelt (vgl. Kapitel 3.1.1 und Kapitel 3.2.1). Im Anschluss werden diese mittels Didaktischer Analyse (Raster nach Bartosch, 2017, vgl. Kapitel 2.2) jeweils für den Unterricht didaktisch fundiert (vgl. Kapitel 3.1.2 und 3.2.2). Die beiden Aufgabenstellungen zur „Elektronik der Nervenzelle“ und „Aus einer Maus einen Elefanten machen“ werden entsprechend der Rahmenbedingungen aus der Didaktischen Analyse (Unterrichtsziele, Lernendenvorstellungen, elementare Grundideen, usw.) entwickelt und mithilfe des Rasters nach Kauertz (vgl. Kauertz, u.a., 2015, S. 461) jeweils in den Kapiteln 3.1.3 und 3.2.3 detailliert beschrieben und hinsichtlich formaler, inhaltsbezogener und fähigkeitsbezogener Aspekte analysiert. Die Einsicht der gesamten Aufgabenstellungen kann im Anhang 1 („Elektronik der Nervenzelle“) bzw. in Anhang 3 („Aus einer Maus einen Elefanten machen“) vorgenommen werden. In Anhang 2 und Anhang 4 können Lösungsvorschläge zu den beiden Aufgabenstellungen eingesehen werden.

3.1 Aufgabenentwicklung zur „Elektronik der Nervenzelle“

Für die Aufgabenstellung zur „Elektronik der Nervenzelle“ wurde ein Themengebiet aus dem Bereich der Elektrizitätslehre gewählt, da gerade dieses Teilgebiet der Physik von Schüler*innen häufig mit technischen Anwendungen in Verbindung gebracht wird (vgl. Werdenich, 2016, S. 1, zitiert nach Davidovits, 2008). Wie bereits in Kapitel 1.1 gezeigt, kann mit diesem Anwendungsbezug aber nur ein kleiner Bruchteil der Schüler*innen angesprochen werden. Doch elektrische Prozesse finden auch im menschlichen Körper statt, etwa bei der Muskelbewegung oder bei der Erkennung und Weiterleitung von Reizen im Nervensystem. Dieser biologische Kontext stößt entsprechend der IPN-Interessenstudie bei deutlich mehr

Schüler*innen auf Interesse (vgl. Kapitel 1.1). Zur Aufbereitung der für diese Aufgabenstellung gewählten biophysikalischen Inhalte zur Elektrik der Nervenzelle wird zunächst in Kapitel 3.1.1 das notwendige sachliche Wissen zu diesem Themengebiet, gegliedert in den Ruhezustand und in den aktiven Zustand der Nervenzelle, dargestellt. In Kapitel 3.1.2 werden diese Inhalte in Form einer didaktischen Analyse für die Schüler*innen aufbereitet und anschließend wird in Kapitel 3.1.3 die Aufgabenstellung, anhand derer die Schüler*innen die Inhalte erarbeiten sollen, unter anderem hinsichtlich ihres Aufbaus und ihrer formalen und inhaltlichen Kriterien vorgestellt und analysiert.

3.1.1 Biophysikalische Hintergründe zur Nervenzelle

Die meisten Teilchen, die für biologische Prozesse von Bedeutung sind, sind Ionen, d.h., sie besitzen eine ungleiche Anzahl negativer und positiver Ladungsträger. Die Tatsache, dass sich gleichnamige Ladungen abstoßen und ungleichnamige anziehen, ist die Ursache für viele Abläufe im Bereich der Zellen. Die Kraft der Anziehung bzw. Abstoßung ist abhängig vom Betrag der Ladung und vom Abstand der Ladungsträger zueinander. Ein biologisches System besteht aus sehr vielen Ionen, von denen jedes ein elektrisches Feld besitzt. Die einzelnen elektrischen Felder überlagern sich. Die elektrische Kraft (=Coulomb-Kraft) steuert so die Ionenbewegungen und Abläufe im Zellbereich. Wenn Ladungen entgegen der Richtung der elektrischen Feldlinien bewegt werden sollen, muss Arbeit verrichtet werden. Die Potentialdifferenz ist die Größe, die angibt, wie viel Arbeit verrichtet werden muss, um ein Coulomb in einem elektrischen Feld von einem Ort zum anderen zu bewegen. Wenn eine Potentialdifferenz (z.B.: durch Ladungstrennung) aufrechterhalten wird, wird die zur Trennung aufgewendete Energie in Form von elektrischer Energie gespeichert. Dies wird in biologischen Zellen von der Zellwand (=Membran) erfüllt (vgl. Fritsche, 2013, S. 43-49).

3.1.1.1 Ruhezustand der Nervenzelle

Nervenzellen, als die Grundbausteine des Nervensystems, sind für das Empfangen, für das Verarbeiten und für das Transportieren von wichtigen Informationen zuständig (vgl. Werdenich, 2016, S. 1, zitiert nach Davidovits, 2008). Die wichtigsten Bestandteile der Zelle sind der Zellkern, der Zellkörper, die Ausläufer (=Dendriten) und der Hauptfortsatz (=Axon) (vgl. Werdenich, 2016, S. 2, zitiert nach Kahle, 1991).

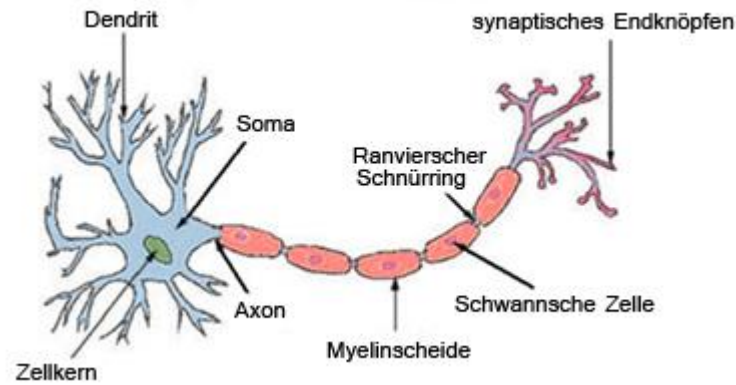


Abbildung 7: Aufbau einer Nervenzelle (Kubb, o.J)

Die Zellmembran dient der Unterteilung des Raums in einzelne (Nerven-)Zellen (vgl. Rädler u.a. 2013, S. 611). Durch diese Abgrenzung kann die Zelle ihre innere Ordnung leichter beibehalten. Dennoch benötigen Zellen die Möglichkeit, selektiv energiereiche Stoffe hereinzulassen und energiearme wieder herauszulassen (vgl. Müller & Frings, 2009, S. 60-61). An der Außenseite der Membran einer Nervenzelle finden sich positiv geladene Natrium (Na^+)-Ionen und negativ geladene Chlor(Cl^-)-Ionen. Im Inneren der Zelle sind positiv geladene Kalium(K^+)-Ionen und negativ geladene organische Moleküle angelagert. Die Biomembran besitzt eine hydrophobe (=wasserabweisende) innere Schicht, die verhindert, dass geladene Teilchen durch die Membran nach außen wandern können (vgl. Fritsche, 2013, S. 50). Ionen und hydrophile (=wasserlösliche) Moleküle können die Membran also nicht passieren, hydrophobe Moleküle allerdings schon. Auf diese Weise kann die Zellmembran den Transport von Teilchen steuern (vgl. Rädler u.a., 2013, S. 611).

In Nervenzellen gibt es außerdem Natrium-Kalium-Pumpen, die mithilfe des Moleküls Adenosintriphosphat immer wieder zwei Kalium-Ionen von außen in die Zelle und drei Natrium-Ionen von innen nach außen transportieren (vgl. Fritsche, 2013, S. 59). So kommt es zu einem Ungleichgewicht der positiven Ladungsträger zwischen Innen- und Außenraum der Zelle (vgl. Rädler u.a., 2013, S. 624). Jedoch besitzen die Kalium-Ionen in der Membran die Kalium-Kanäle, durch welche die Kalium-Ionen wieder selbstständig nach außen zurückwandern können. Den Natrium-Ionen ist das jedoch im Ruhezustand nicht möglich (vgl. Fritsche, 2013, S. 59). Folglich kommt es zu einer Potentialdifferenz an der Zellmembran, welche auch Membranpotential genannt wird. Typische Membranpotentiale liegen bei Werten zwischen +100 mV und -100 mV. Die entsprechende Feldstärke bei einer Breite der Membran von 5 nm ist mit 20 MV/m sehr groß (vgl. Fritsche, 2013, S. 50-51).

Eine Membran entspricht aufgrund ihrer ladungsspeichernden Wirkung dem technischen Bauteil des Kondensators. Dieser besteht aus zwei elektrischen Leitern, die dadurch jeweils mit unterschiedlichem Vorzeichen geladen werden, dass Ladungen von einem Leiter auf den anderen wandern. Wie viel Energie ein Kondensator speichern kann, wird durch dessen Kapazität (gemessen in Farad) bestimmt, die sich aus dem Quotienten Ladung durch Spannung errechnet. Für die Zelle gilt, dass die Membran auf beiden Seiten jeweils von einer wässrigen Lösung umgeben ist und dass die Ladungsdifferenz durch eigene Transportmechanismen für Ionen hergestellt wird. Am ehesten entspricht sie einem Plattenkondensator, bei dem zwei Metallplatten in einem bestimmten Abstand zueinander durch ein Vakuum getrennt sind. Statt des Vakuums verwenden Zellen als Isolator ein Dielektrikum, wodurch das gesamte elektrische Feld um einen gewissen Faktor verringert wird. Für die Zellmembran ist dieser Faktor durch die relative Permittivität (für Biomembranen) ϵ_{rel} festgelegt. Wenn möglichst viel Energie gespeichert werden soll, muss außerdem die Fläche des Kondensators so groß wie möglich sein, was durch eine starke Faltung der Membran realisiert wird (vgl. Fritsche, 2013, S. 51-52).

Wie verschiedene Größen auf die Kapazität C eines Kondensators mit Dielektrikum Einfluss nehmen, kann der Formel (1) zur Berechnung der Kapazität entnommen werden. ϵ_0 bezeichnet die elektrische Feldkonstante mit $8,9 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm}$ und d den Plattenabstand.

$$C = \frac{\epsilon_{rel} \cdot \epsilon_0 \cdot A}{d} \quad (1)$$

Im Bereich der Zellen spielen jedoch nicht nur die Ladungsträger eine wichtige Rolle, sondern auch die Art der unterschiedlichen Ionen. Es wird daher durch die Trennung der Ladungsträger nicht nur eine elektrische Potentialdifferenz hergestellt, sondern eine elektrochemische Potentialdifferenz, die auch durch die unterschiedliche Ionenkonzentration zwischen dem Innen- und Außenbereich der Zelle bestimmt wird. Wenn Ionen wandern, fließt ein elektrischer Strom. Je mehr Ionen wandern, desto größer ist der entsprechende Stromfluss. Damit die Membranspannung einer Zelle nicht zusammenbricht, dürfen nicht zu viele Kanäle und andere Transportsysteme gleichzeitig wirken. Dass der Stromfluss zu groß wird, verhindern elektrische Widerstände, die sich für die Zellen aus den sich überlagernden elektrischen Feldern der vielen Ionen und aus ungeladenen Molekülen, mit denen Ladungsträger zusammenstoßen und somit abgebremst werden, zusammensetzen. Ein Beispiel für einen Widerstand im Zellsystem wäre die Selektion am Kalium-Kanal, wo Kalium-Ionen ihre Hydrathülle (=Wassermoleküle, die

sich um das Ion anlagern) zurücklassen müssen, um passieren zu können und so elektrische Energie in Wärme umgewandelt wird (vgl. Fritsche, S. 54-56).

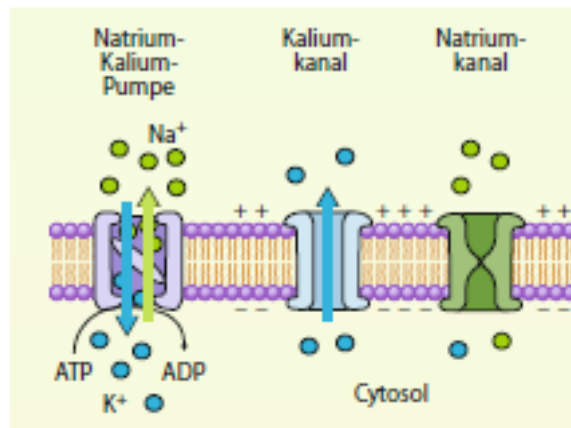


Abbildung 8: Abschnitt der Membran einer Nervenzelle zum Aufbau des Ruhepotentials (Fritsche, 2013, S. 61)

In Abbildung 8 wird der Ruhezustand der Nervenzelle dargestellt. Dabei können die Natrium- und Kalium-Ionen durch die Pumpe wandern und die Kalium-Ionen außerdem durch den Kalium-Kanal. Der Natrium-Kanal ist hingegen nicht geöffnet. So kommt es zu einem Ruhepotential von ca. -70 mV , welches ohne äußere Einwirkung vorliegt.

Im Ruhezustand kann das Ersatzschaltbild der Membran der Nervenzelle wie in Abbildung 9 dargestellt werden:

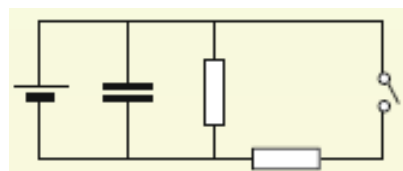


Abbildung 9: Ersatzschaltbild der Nervenzelle im Ruhezustand (Fritsche, 2013, S. 61)

Die Zellmembran symbolisiert den Kondensator, der im Ruhezustand aufgeladen wird. Die Spannungsquelle steht für die unter Einsatz des Moleküls Adenosintriphosphat (ATP) entstehende Potentialdifferenz zwischen dem Inneren und dem Äußeren der Zelle. Sowohl die Ionenkanäle der Membran, die selektiv Ladungen durchlassen, stellen einen Widerstand dar als auch der Querschnittsunterschied zwischen dem Inneren und dem Äußeren der Zelle, der die Ausbreitung längs der Zelle beeinflusst (vgl. Runge, 2018, S. 617). Der Schalter ist geöffnet, sodass kein Strom fließen kann.

3.1.1.2 Aktiver Zustand der Nervenzelle

Wenn ein Reiz die Zelle erreicht, reagieren die Fasern der Nervenzelle (=Dendriten) auf die Spannungsänderung (vgl. Fritsche, 2013, S. 60). Allerdings registriert die Zelle den Reiz nur, wenn er eine Schwellenspannung von -40 mV überschreitet (vgl. Werdenich, 2016, S.3, zitiert nach Davidowits, 2008). Nun werden die Natrium-Kanäle geöffnet, wodurch sich die Potentialdifferenz verringert, da somit auch die Natrium-Ionen wandern können (vgl. Abbildung 10). Man spricht von einer Depolarisierung. (vgl. Fritsche, 2013, S. 60).

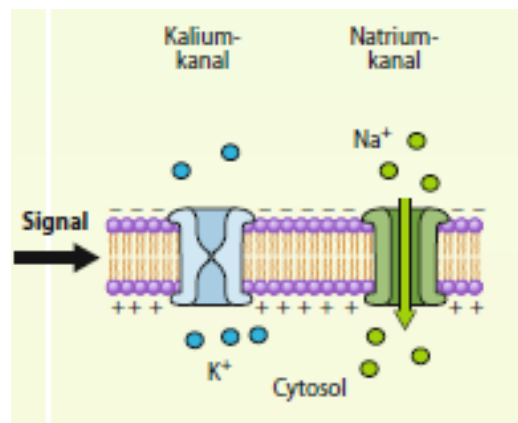


Abbildung 10: Abschnitt der Membran einer Nervenzelle im gereizten Zustand

Daraufhin wandert ein elektrisches Aktionspotential den Ausläufer der Zelle entlang. Die Änderung der Spannung in einem Membranabschnitt verursacht jeweils die Öffnung der Natriumkanäle im nächsten Abschnitt. Dieser Vorgang entspricht physikalisch gesehen der Verkettung von elektrischen Schaltern, wie etwa bei Transistoren (vgl. Fritsche, 2013, S. 60). Eine Millisekunde nach der Öffnung der Natrium-Kanäle verschließen sich diese wieder und es öffnen sich die spannungsabhängigen Kalium-Kanäle, sodass die Kalium-Ionen nach außen wandern können und die Zelle nach wenigen Millisekunden für das Empfangen eines neuen Reizes bereit ist (vgl. Werdenich, 2016, S.4, zitiert nach Wehner & Gehring, 2007). Dieser letzte Schritt zur Wiederherstellung des Ruhepotentials wird auch Repolarisation der Zelle genannt (vgl. Rädler u.a., 2013, S. 624).

Um einen Membranabschnitt im gereizten Zustand zu symbolisieren, muss lediglich der Schalter geschlossen werden, sodass sich der Kondensator entladen kann.

Baut man zusätzlich einen Transistor ein und koppelt mehrere Schaltungen dieser Art miteinander, kann der Transport des elektrischen Signals von Membranabschnitt zu Membranabschnitt dargestellt werden (vgl. Abbildung 11).

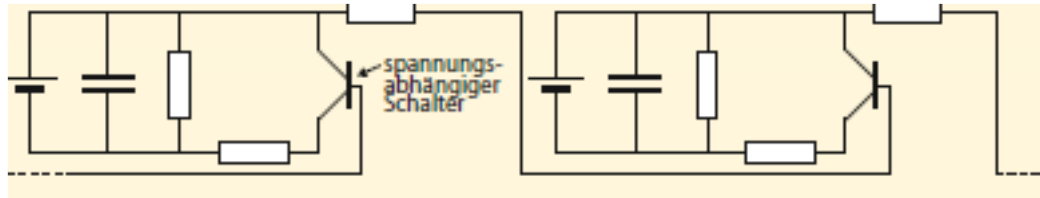


Abbildung 11: Ersatzschaltbild für die Wanderung des Aktionspotentials über die Membran (Fritsche, 2013, S. 61)

3.1.2 Didaktische Analyse zur „Elektronik der Nervenzelle“

Die folgende Didaktische Analyse beschreibt eine Unterrichtssequenz zum physikalischen Gebiet der Elektronik, im Konkreten zum elektronischen Bauteil des Kondensators, der mithilfe des biologischen Systems der Nervenzelle eingeführt wird. Im Rahmen dieser Masterarbeit wird nur die Erarbeitungsaufgabe zur „Elektronik der Nervenzelle“ mit den Schüler*innen bearbeitet. Eine exemplarische Möglichkeit, die Aufgabenstellung in eine längere Unterrichtssequenz einzubauen, wird im Abschnitt „Sachstruktur und Unterrichtsideen“ der Didaktischen Analyse vorgestellt. Das in Kapitel 2.2 vorgestellte Schema der Didaktischen Analyse wurde um den Punkt „Notwendiges Vorwissen zur Bearbeitung der Aufgabenstellung“ ergänzt, da sowohl physikalische als auch mathematische und symbolische Kenntnisse zur Bearbeitung erforderlich sind, die in dieser Aufgabenstellung nicht gesondert eingeführt werden und entsprechend von der Lehrperson erwähnt oder erläutert werden sollten, falls die Schüler*innen die erforderlichen Kompetenzen noch nicht erworben haben.

DIDAKTISCHE ANALYSE zum Thema „Die Elektronik der Nervenzelle“

SCHLÜSSELBEGRIFF(E) der Unterrichtseinheit/-sequenz:

Ionen, Ladung, elektrische (und chemische) Potentialdifferenz, (elektrischer) Strom, Widerstand, Kondensator, Kapazität, elektrische Feldstärke

Was sollen Schüler*innen am Ende der gesamten Unterrichtssequenz/der Unterrichtseinheit wissen/können? (GROBZIELE)

Anm.: *Kursive Ziele* betreffen die erprobte Aufgabenstellung „Elektronik der Nervenzelle“ und nicht-kursive Ziele werden durch die Einbettung der Aufgabenstellung in eine längere didaktische Einheit angesprochen.

Die Schüler*innen können reflektieren, welche Rolle elektronische Geräte für sie und die Gesellschaft spielen. **(S)**

*Die Schüler*innen können die Ladungsverteilung in einer Nervenzelle und die Rolle der elektrischen und chemischen Potentialdifferenz zwischen Innen- und Außenraum der Zelle im Ruhezustand beschreiben und grafisch darstellen. (W)*

*Die Schüler*innen können physikalisch begründete Vermutungen über das Verhalten der Ladungsträger zur Herstellung des Ruhezustands und im gereizten Zustand anstellen. (E)*

*Die Schüler*innen können einzelne Bestandteile der Zelle auf elektronische Bauteile übertragen und so Prozesse in der Zelle erklären. (W)*

*Die Schüler*innen können das Herstellen des Ruhezustands und den gereizten Zustand mittels Schaltskizze darstellen. (W)*

*Die Schüler*innen können das Herstellen des Ruhezustands und den gereizten Zustand durch ein Experiment mit entsprechenden elektronischen Bauteilen realisieren und protokollieren. (E)*

*Die Schüler*innen können die Auswirkungen einzelner Bauteile auf die Prozesse im Schaltkreis und somit auf die Vorgänge in der Nervenzelle beschreiben und untersuchen. (W, E)*

*Die Schüler*innen können die Kapazität und elektrische Feldstärke der Membran einer Nervenzelle berechnen und aus den Ergebnissen Schlüsse ziehen (z.B.: hinsichtlich der Größenordnung). (W, S)*

*Die Schüler*innen können schlussfolgern, wie sich das Fehlen der Membranspannung (z.B.: aufgrund eines Gifts) auf den Organismus auswirkt. (S)*

Die Schüler*innen kennen Merkmale verschiedener Kondensatoren und können von ihnen Informationen ablesen. **(W)**

Die Schüler*innen können die Funktionsweise eines Kondensators erklären und darstellen. **(W)**

WARUM sollen Schüler*innen das lernen?

Gegenwart: Elektronische Bauteile als Bestandteile von Alltagsgeräten (Radio, Fernseher, Handy, Computer, etc.)

Schüler/innen: Kenntnis über die Funktionsweise von Geräten, mit denen sie täglich viele Stunden verbringen, um zur verantwortungsbewussten und reflektierten Nutzung beizutragen

Wissenschaft: Kenntnis über die Prozesse in menschlichen Nervenzellen zum besseren Verständnis des menschlichen Körpers (Bedeutung der Membranspannung für das Überleben bzw. die Gesundheit)

Zukunft: Forschung zur Weiterentwicklung und Verbesserung technischer Geräte und Technologien, Forschung zu Bioelektrizität und Krebsforschung

Gesellschaft: Veränderung des Kommunikationsverhaltens und der Freizeitgestaltung/ Unterhaltung

Elementare GRUNDIDEEN

Elektrisch geladene Körper bewirken ein elektromagnetisches Feld in ihrer Umgebung.

Das elektromagnetische Feld verursacht eine Kraftwirkung auf in dem Feld befindliche elektrisch geladene Körper.

Eine elektrische Spannung ist eine Ladungstrennung, die eine Potentialdifferenz verursacht.

Eine Potentialdifferenz kann sich durch einen Stromfluss über ein leitendes Material verringern.

Ein Kondensator besteht aus zwei elektrischen Leitern, die durch einen Isolator getrennt sind.

Ein Kondensator ist ein Ladungsspeicher und kann im aufgeladenen Zustand als Spannungsquelle dienen.

Die Kapazität C gibt an, wie viel Ladung in Bezug zu einer Spannung ein Kondensator speichern kann.

Sachstruktur & Unterrichtsideen

1. Einstieg Elektronik

- **Bildcollage** von elektronischen Geräten (von der Lehrperson gezeigt)
- **Klassenumfrage:** Wie viele Stunden verwendest du diese Geräte täglich? Wie wäre ein Leben für dich ohne diese Geräte?
- **Klassendiskussion:** Wie beeinflussen diese Geräte unseren Alltag, Arbeitswelt, Kommunikation, Gesellschaft, etc.?

➔ Alltags- und Gesellschaftsbezug; Wecken des Interesses; Reflexion des Stellenwerts (auch Nutzung) und der Bedeutung elektronischer Geräte

2. Erarbeitung der „Elektronik der Nervenzelle“

- **Lernaufgabe:** Arbeitsblatt zur Erarbeitung der Inhalte der Nervenzelle durch die Schüler*innen (alleine oder in Gruppen) + Erläuterungen von der Lehrperson und Hilfestellungen an geeigneten Stellen

Gliederung der Aufgabenstellung:

- a) Beschreibung, Darstellung und Erklärung des Ruhezustands und gereizten Zustands der Nervenzelle und der Prozesse, die durch die elektrische und chemische Potentialdifferenz zwischen Innen- und Außenraum der Zelle gesteuert werden
- b) Übertragung wichtiger Bestandteile der Nervenzelle auf elektronische Bauteile durch Zuordnung und Darstellung des Erreichens des Ruhezustands und des aktiven Zustands mithilfe einer Schaltskizze
- c) Experimentaufbau und Durchführung nach Schaltskizze und Beobachtung der Abläufe; Erläuterung, wie verschiedene Bauteile den Ablauf beeinflussen; Berechnung der Kapazität + der elektrischen Feldstärke der Membran einer Nervenzelle im Rückenmark; Denkaufgabe Pfeilgiftfrosch (Schlüsse ziehen)

3. Der Kondensator als physikalisches Bauteil:

- **Gruppenarbeit:** Verschiedene Kondensatoren untersuchen: Unterschiede feststellen, Informationen ablesen
- **Funktionsprinzip** des Kondensators noch einmal vertiefend erklären + Hefteintrag bzw. Arbeitsblatt

Mit welchen Lernendenvorstellungen ist bei diesem Thema zu rechnen?

Elektrischer Stromkreis:

Elektrischer Strom wird verbraucht.

Spannung ist eine Eigenschaft des elektrischen Stroms.

Die Stromstärke ist unabhängig vom Widerstand.

Ein größerer Widerstand braucht mehr Strom.

Ein größerer Widerstand verbraucht mehr Strom.

(vgl. Hopf & Wilhelm, 2018, S. 118-127)

Vor jedem Widerstand ist die Stromstärke größer als nach dem Widerstand (Wilhelm, o. J., 2007).

Elektrisches Feld:

Es kommt auf die direkte Wechselwirkung zwischen geladenen Körpern an, das Feld wird vernachlässigt.

Ladungen sind immer beweglich.

Im Isolator ist kein Feld.

Der elektrische Strom verursacht das elektrische Feld.

(vgl. Hopf & Wilhelm, 2018, S. 187-192)

Notwendiges Vorwissen zur Bearbeitung der Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung ist so aufgebaut, dass sie zunächst einen kurzen Informationstext über die Funktionsweise der Zellmembran einer Nervenzelle enthält, in welchem wichtige und möglicherweise unbekannte Begriffe fett hervorgehoben sind. Es wird davon ausgegangen, dass die Schüler*innen über die biophysikalischen Inhalte, die die Aufgabenstellung betreffen, keinerlei Vorwissen besitzen. Für den ersten Teil der Aufgabenstellung müssen die Schüler*innen einem positiven Ladungsträger das Symbol $+$ zuordnen können und einem negativen das Symbol $-$. Den Schüler*innen muss außerdem bekannt sein, dass auch einer elektrischen Potentialdifferenz ein $+$ oder ein $-$ zugeordnet werden kann und was das aussagt. Zur weiteren Bearbeitung der Aufgabenstellung benötigt es ein Vorwissen über die Grundbegriffe Spannung, Strom und Widerstand. Der Kondensator wird mithilfe dieser Aufgabenstellung eingeführt. Die Schaltsymbole zur Darstellung einzelner physikalischer Bauteile müssen ebenfalls bekannt sein und wie die jeweiligen Bauteile in einer Schaltskizze angeordnet und miteinander verbunden werden. Für die Berechnung der Kapazität der Membran einer Rückenmarkszelle und der entsprechenden elektrischen Feldstärke benötigen die Schüler*innen ein Vorwissen über Zehnerpotenzen und eine Vorstellung über die Größenordnungen verschiedener Zehnerpotenzen. Außerdem muss die Formel für die Oberfläche eines Zylinders bekannt sein.

Welche Interessen könnten Schüler*innen zu diesem Thema haben?

Elektronische Bauteile sind Bestandteile sämtlicher Geräte, die im Alltag Verwendung finden (z.B.: Radio, Fernseher, Handy, Computer, ...). Durch diesen Alltagsbezug können vor allem technisch interessierte Schüler*innen angesprochen werden.

Diese Unterrichtsplanung nimmt sich zum Ziel, vor allem Schüler*innen anzusprechen, die dem Interessentyp B entsprechen und deren Interessen somit im Bereich „Mensch und Natur“ liegen.

Dazu werden elektronische Bauteile, deren Funktionsweise und Darstellung im biophysikalischen Kontext der menschlichen Nervenzelle angewandt. Das Konzept der Potentialdifferenz wird über das Verhalten von Ionen im Zellinneren und –äußeren thematisiert.

Schüler*innen könnte dabei interessieren, welche Bedingungen gegeben sein müssen, damit eine Nervenzelle überhaupt einen Reiz wahrnehmen kann und wie die Reizübertragung zum Gehirn stattfindet, wie also ein Sinneseindruck vermittelt wird.

Tabelle 3: Didaktische Analyse „Elektronik der Nervenzelle“

3.1.3 Analyse der Aufgabenstellung „Elektronik der Nervenzelle“

Die Aufgabenstellung „Elektronik der Nervenzelle“ (vgl. Anhang 1) besteht aus drei großen Teilen. Im ersten Teil wird der Ruhezustand der Nervenzelle behandelt. Zunächst wird in einem kurzen Informationstext erklärt, welche Ionen sich innerhalb und außerhalb der Zelle befinden und wie diese wandern können. Wichtige und möglicherweise unbekannte Begriffe sind fett hervorgehoben. Um die Vorstellung zu erleichtern, wurde selbst eine Abbildung vom Innen- und Außenraum der Zelle gestaltet, welche durch die Lipid-Doppelschicht voneinander getrennt sind. Die folgenden einleitenden Aufgabenstellungen beziehen sich auf den Informationstext und sprechen die W-Kompetenz der Schüler*innen an. Danach folgt ein weiterer Informationstext, sowohl zur chemischen als auch zur elektrischen Potentialdifferenz. Die darauf bezugnehmenden Fragestellungen verlangen von den Schüler*innen die grafische Darstellung der Situationen minimaler Potentialdifferenz und das Ziehen weiterer Schlüsse aus dieser grafischen Darstellung. Im zweiten Teil der Aufgabenstellung werden zwei Fragestellungen zum aktiven Zustand der Zelle gestellt. Die Weiterleitung des Signals als elektrischer Impuls wird nicht behandelt, um den Umfang der Aufgabenstellung einzugrenzen. Im folgenden Teil des Experiments wird zunächst das für die Schüler*innen unbekannte Bauteil des Kondensators erklärt. Daraufhin erfolgt von den Schüler*innen die Transferleistung von Bestandteilen der Nervenzelle zu elektronischen Bauteilen durch Zuordnung und Darstellung der Situation zur Herstellung des Ruhezustands und aktiven Zustands mittels Schaltskizze. Im Anschluss werden die entsprechenden Experimente durchgeführt und die Ergebnisse interpretiert. Schließlich wird noch in einem weiteren Informationstext die Kapazität eingeführt und exemplarisch die Kapazität einer Zellmembran berechnet. Als Abschluss-Aufgabe soll argumentiert werden, wieso der Abbau der Zellmembran (z.B.: durch Gift) so gefährlich ist. Die Aufgabenstellung wird detaillierter mit folgendem Raster nach Kauertz u.a. analysiert (vgl. Kauertz, u.a., 2015, S. 461):

Analyse einer Aufgabenstellung	
Formale Aspekte	
Unterrichtsphase/ Testsituation	Lernaufgabe
Anzahl der Lösungswege/Offenheit	Bei vielen Aufgaben sind verschiedene Lösungswege möglich. Rechenaufgaben und Zuordnungsaufgaben besitzen nur einen möglichen Lösungsweg.
Antwortformat	Teilweise offen (z.B.: Teil 1 / A3 zur Darstellung der minimalen Potentialdifferenz) Teilweise geschlossen (z.B.: Teil 3 / A6 Berechnung der Kapazität)
Experimenteller Anteil	Teil 3 der Aufgabenstellung ist teilweise experimentell. Das Erreichen des Ruhezustands und der aktive Zustand werden mithilfe einer einfachen elektronischen Schaltung im Experiment dargestellt.
Statistische Güte	-
Inhaltsbezogene Aspekte	
Komplexität	- Kenntnis über den einfachen elektrischen Stromkreis wird vorausgesetzt. - Einige physikalische neue Fachbegriffe (z.B.: Potentialdifferenz, Kapazität, usw.) werden eingeführt. - Biologische Fachbegriffe (z.B.: Zellmembran, Natrium-Kalium-Pumpe, usw.) werden verwendet.¹ - Kenntnis von Zehnerpotenzen und Vernetzung und Vorsilben wird vorausgesetzt. - Einige Aufgaben sprechen die S-Kompetenz an. - Biologische Vorgänge werden mithilfe physikalischer Gesetzmäßigkeiten beschrieben und erklärt. - Hohes sprachliches Kompetenzniveau ist zum Verständnis der Aufgabenstellung aufgrund der vielen Fachbegriffe und des komplexen Satzbaus notwendig.

¹ Entsprechend des Biologie-Lehrplans wird der Aufbau der Nervenzelle zwar in der 4. Klasse Unterstufe behandelt (vgl. Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort, 2020), die elektrischen Vorgänge in der Nervenzelle aber erst in der Oberstufe.

Curricularer Bezug	- AHS Unterstufe Bildungsbereich „Mensch und Gesellschaft“: Einfluss von Physik und Technik auf gesellschaftliche, ökonomische und ökologische Entwicklungen - 4. Klasse AHS Unterstufe: Elektrizität bestimmt unser Leben - Einsichten in Funktionsprinzipien technischer Geräte aus dem Interessensbereich der Schülerinnen und Schüler gewinnen - AHS Oberstufe Bildungsbereich „Natur und Technik“: Physik als Grundlage der Technik verstehen - 7./8. Klasse AHS Oberstufe: Den Einfluss der Physik auf Gesellschaft und Arbeitswelt verstehen (vgl. Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort, 2020)
Verfügbarkeit von Fachwissen	Die Informationstexte zwischen den Aufgabenstellungen dienen der Einführung des notwendigen Vokabulars bzw. der Erläuterung der biologischen und physikalischen Zusammenhänge und Gegebenheiten. Ausnahmen: vgl. Abschnitt Komplexität
Basiskonzept/Leitidee	Der Kondensator als elektrisches Bauteil wird durch den biophysikalischen Inhalt der Funktionsweise der Nervenzelle, insbesondere der Zellmembran, eingeführt. Sowohl der Ruhezustand als auch der gereizte Zustand der Zelle lassen sich (vereinfacht) auf Basis elektrischer Schaltkreise beschreiben und erklären.
Fähigkeitsbezogene Aspekte	
Kompetenzbereich	Es sind die verschiedenen Kompetenzbereiche laut Bildungsstandards² vertreten: Fachwissen (z.B.: Teil I / A2), Erkenntnisgewinn (z.B.: Teil III / A3), Kommunikation (z.B.: Teil I / A3) und Bewertung (z.B.: Teil III / A8).
Kompetenzstufung	Es sind Aufgaben von Stufe I bis IV vertreten.
Kognitive Aspekte	Beispiele für Arbeitsaufträge der Aufgabenstellung, die verschiedene kognitive Aspekte ansprechen: Reproduktion (= Stufe I): Teil I / A1

² Die Bildungsstandards legen österreichweit Zielklassen und Anforderungsstufen für den Physikunterricht fest (vgl. Kircher, 2015, S. 86-87).

	Reorganisation (=Stufe II): Teil III / A2 Transfer (=Stufe III): Teil I / A5 Problemlösendes Denken (=Stufe IV): Teil III / A1
Beziehung zu Lern-/Testsituationen	
Bezug Schülervorstellungen	vgl. Didaktische Analyse (Kapitel 3.1.2)
Kontextualisierung	Biophysikalischer Kontext: Nervenzelle
Beziehung zu umgebenden Aufgaben	-

Tabelle 4: Analyseraster „Elektronik der Nervenzelle“

3.2 Aufgabenentwicklung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“

Die zweite entwickelte Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen (vgl. Anhang 3) beschäftigt sich mit dem Energiekonzept, wobei verschiedene Tiere hinsichtlich ihres Aussehens und der benötigten Energie zur Versorgung ihres Körpers untersucht werden. Das Energiekonzept ist nicht nur für Physik, sondern für alle Naturwissenschaften von großer Bedeutung. Außerdem konnte in aktuellen Studien gezeigt werden, dass das Verständnis für das Energiekonzept der Schüler*innen deutlich ausbaufähig ist und dass bis in höhere Schulstufen Fehlvorstellungen vorherrschen (vgl. Neumann, 2013, S. 180). Daher nimmt sich diese Aufgabenstellung zum Ziel, in einem biophysikalischen Kontext einen Beitrag zur Entwicklung eines adäquaten Energiekonzeptes zu leisten. Dazu werden in Kapitel 3.2.1 die fachlichen Hintergründe, die für das Verständnis der Aufgabenstellung erforderlich sind, erläutert, in Kapitel 3.2.2 in tabellarischer Form als didaktische Analyse aufbereitet und in Kapitel 3.2.3 die Aufgabenstellung näher vorgestellt und analysiert.

3.2.1 Biophysikalische Hintergründe zum Energieumsatz von Säugetieren

Viele Aspekte des unterschiedlichen Aussehens und der Lebensbedingungen von Tieren lassen sich auf physikalische Hintergründe zurückführen. Die Körpergröße des Tieres ist hier die entscheidende Größe, da vor allem das Verhältnis zwischen Volumen und Körperoberfläche sehr wichtig ist. Das Volumen nimmt schneller zu als die Körperoberfläche, je größer das Tier ist. Entsprechend des Volumens muss der Körper des Tieres mit Nahrung versorgt werden, die Abgabe von Energie in Form von Wärme erfolgt aber proportional zur Oberfläche des Tieres.

Auf Zellebene wird dieses Problem durch die Zellteilung gelöst, da so mehr Oberfläche relativ zum Volumen der Zelle vorhanden ist. Große Tiere besitzen Organe, die häufig gefaltet sind und ebenfalls eine große Oberfläche besitzen (vgl. Schlichting & Rodewald, 1988, S. 1-2).

Warmblüter, wie auch der Mensch, besitzen den Vorteil, dass sie ständig körperlich aktiv sein können, da die Muskeln erst ab einer bestimmten Temperatur arbeiten können (vgl. Mathelitsch, 1992, S. 41). Dafür müssen sie aber mit ihrer konstanten Körpertemperatur von 35-40 C°, die sie das ganze Jahr über halten, laut Energieerhaltungssatz im zeitlichen Mittel gleich viel Energie durch Nahrung zuführen, wie auch wieder vom Körper in andere Energieformen (z.B.: Bewegungsenergie, Wärme) umgewandelt wird. Daraus folgt, dass große Tiere Kühlvorrichtungen (z.B.: Hecheln oder Schwitzen) benötigen, um überschüssige Energie trotz ihrer verhältnismäßig kleinen Oberfläche abzuführen. Kleine Tiere brauchen im Gegensatz dazu eine gute Isolierung (dicke Fellschicht), um die Körpertemperatur aufrechtzuerhalten und müssen entsprechend mehr Nahrung zu sich nehmen, um sich energetisch zu versorgen (vgl. Schlichting & Rodewald, 1988, S. 3). Tiere in warmen Regionen können sich auch damit helfen, ihre Körperoberfläche zu vergrößern, indem sie etwa große Ohren besitzen. Mäuse zum Beispiel kauern sich bei Kälte eng zusammen, um ihr Volumen ihm Verhältnis zur Oberfläche zu vergrößern (vgl. Mathelitsch, 1992, S. 42).

Eine wichtige Größe in diesem Zusammenhang ist die Stoffwechselintensität eines Tieres, die angibt, wie viel Energie von einem bestimmten Tier in einer bestimmten Zeiteinheit durch Nahrung zugeführt wird. Es hat sich ergeben, dass die Stoffwechselintensität P proportional zu $m^{3/4}$ des Tieres ist (vgl. Schlichting & Rodewald, 1988, S. 4).

Auch in diesem Zusammenhang genannt werden muss der Grundumsatz, der ebenfalls von Tier zu Tier unterschiedlich ist. Der Grundumsatz ist die Energiemenge, die ein Körper auch zu sich nehmen muss, wenn er sich nicht in Bewegung befindet. Für den Menschen gilt, dass ca. 70 % der Energie zur Deckung des Grundumsatzes von der Leber, der Skelettmuskulatur und dem Gehirn verbraucht werden. Männer besitzen einen durchschnittlichen Grundumsatz von 7000 kJ pro Tag, Frauen 6000 kJ pro Tag. Das entspricht einer Leistung von 80 bzw. 70 Watt. Diese Energie wird vom Körper in nicht mehr nutzbare Energie (=Wärme) umgewandelt. Bei körperlicher Betätigung steigt der Energieumsatz je nach Anstrengung (vgl. Fritsche, 2013, S. 226).

3.2.2 Didaktische Analyse zur Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“

In der folgenden Didaktischen Analyse wird die Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“ didaktisch fundiert. Sie umfasst nur die Aufgabenstellung selbst, von einer Einbettung in eine größere Unterrichtseinheit wurde abgesehen, weil sich dazu bereits detaillierte Ausarbeitungen in der Literatur finden lassen (vgl. z.B.: Colicchia, 2002) und auch in Schulbüchern finden sich entsprechende Anregungen (vgl. z.B.: Apolin, 2017).

DIDAKTISCHE ANALYSE zur Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“
SCHLÜSSELBEGRIFF(E) der Unterrichtseinheit/-sequenz: Energie, Energieumwandlungen, Wärme, Stoffwechselintensität, Grundumsatz, Körperoberfläche, Körpervolumen
Was sollen Schüler*innen am Ende der gesamten Unterrichtssequenz/der Unterrichtseinheit wissen/können? (GROBZIELE) Die Schüler*innen können durch Verhältnisrechnung die Stoffwechselintensitäten verschiedener Säugetiere berechnen. (W) Die Schüler*innen können einer Tabelle zur Stoffwechselintensität Informationen entnehmen und so die Größenordnung der Abweichung durch die Berechnungen bestimmen. (E) Die Schüler*innen können Berechnungen zu Grundumsatz und Energiemenge anstellen. (W) Die Schüler*innen können aus den Berechnungen Schlüsse ziehen, inwiefern sich die Größe eines Tieres auf dessen Grundumsatz und Stoffwechselintensität auswirkt. (S) Die Schüler*innen können Oberfläche und Volumen von Maus und Elefant berechnen. (W) Die Schüler*innen können Schlüsse ziehen, wie der höhere prozentuelle Skelettanteil großer Tiere mit deren Grundumsatz und Stoffwechselintensität zusammenhängen. (S)
WARUM sollen Schüler*innen das lernen? <u>Schüler*innen:</u> Warum schwitzen wir? Warum hechelt ein Hund? <u>Wissenschaft:</u> Aufgrund physikalischer Erkenntnisse kann begründet werden (Verhältnis von Oberfläche zu Volumen), warum kleine Tiere anders aufgebaut sind als große (z. B.: warum ein Wüstenfuchs anders aussieht als ein Polarfuchs). <u>Zukunft:</u> Wie könnten Lebewesen in Zukunft aussehen (globale Klimaerwärmung)? <u>Gesellschaft:</u> Zur Versorgung der Organe und für die Aufrechterhaltung der Körpertemperatur

benötigen wir auch im Ruhezustand eine bestimmte Energiemenge (evt.: Nulldiäten, Essstörungen).

Elementare GRUNDIDEEN

Säugetiere müssen zur Aufrechterhaltung ihrer konstanten Körpertemperatur (ca. 37 °C), zur Versorgung der Organe und für körperliche Aktivitäten, im zeitlichen Mittel gleich viel Energie in Form von Nahrung zu sich nehmen wie sie über ihre Oberfläche wieder abgeben.

Die Stoffwechselintensität ist die Energiemenge, die pro Zeiteinheit von Tieren über die Nahrung aufgenommen wird.

Der Grundumsatz ist diejenige Energiemenge, die von einem Körper in völlig nüchternem Zustand bei absoluter Ruhe innerhalb von 24 Stunden benötigt wird.

Kleine Tiere besitzen im Verhältnis zu ihrer Masse eine hohe Stoffwechselintensität und einen hohen Grundumsatz, da sie im Verhältnis zu ihrem Volumen eine große Oberfläche besitzen.

Sachstruktur & Unterrichtsideen

LERNAUFGABE „Aus einer Maus einen Elefanten machen“

- 1. Stoffwechselintensität verschiedener Tiere:** Herstellung eines Zusammenhangs zwischen der Stoffwechselintensität verschiedener Säugetiere und ihrer Körpermasse (Verhältnisrechnung, Tabelle Informationen entnehmen und mit eigenen Ergebnissen vergleichen)
- 2. Grundumsatz verschiedener Tiere:** Vergleich des Grundumsatzes von Mensch, Maus und Elefant; Berechnen der Menge an Nahrung, die entsprechend (pro Masse) zu sich genommen werden muss; schlussfolgernd daraus Konsequenzen ziehen, wie Stoffwechselintensität bzw. Grundumsatz und Größe des Tieres zusammenhängen
- 3. Verhältnis zwischen Körperoberfläche und Volumen verschiedener Tiere:** Berechnung der Körperoberfläche bzw. des Volumens der Maus und wie sich Oberfläche und Volumen mit steigender Größe (Durchmesser) des Tieres verändern (anschaulich kann mithilfe von Würfeln gezeigt werden, dass mit steigender Würfelanzahl das Volumen schneller wächst als die Oberfläche); bezugnehmend auf das bisher Erarbeitete Schlussfolgerungen ziehen, wie der hohe Skelettanteil großer Tiere mit deren geringer Stoffwechselintensität zusammenhängt

Mit welchen Lernendenvorstellungen ist bei diesem Thema zu rechnen?

Energie, Arbeit, Leistung und Wärme:

Energie ist eine Art Lebensenergie, die Lebewesen besitzen.

Energie ist nur in Vorgängen vorhanden. Aktivität ist Energie.

Energie ist ein Inhaltsstoff von Dingen und muss (z.B.: durch Essen) herausgelöst werden und kann erst so genutzt werden.

Energie ist in Dingen vorhanden und wird dort gelagert.

(vgl. Behle & Wilhelm, o. J., S. 147)

Energie wird im Körper durch Nahrung hergestellt.

Nahrung ist Energie.

Lebendige Lebewesen besitzen Energie, tote hingegen nicht.

(vgl. Burger, 2001, S. 165-168)

Energie braucht man, um etwas zu bewirken.

Energie kann man speichern.

Energie wird verbraucht bzw. geht verloren und bleibt nur unter idealen Bedingungen erhalten.

Arbeit bedeutet Anstrengung.

Leistung bezeichnet das, was man geschafft hat.

(vgl. Duit & Schecker, 2018, S. 164-174)

Bestimmte Stoffe (z.B.: Wolle) erzeugen Wärme.

Wärme ist ein Stoff.

(vgl. Fischler & Schecker, 2018, S. 149-151)

Welche Interessen könnten Schüler*innen zu diesem Thema haben?

Diese Unterrichtsplanung nimmt sich zum Ziel, vor allem Schüler*innen anzusprechen, die dem Interessentyp B entsprechen und somit das Interesse der Schüler/innen zu wecken, die eher kein/wenig Interesse an technischen Inhalten entwickeln.

Daher wird der Energieerhaltungssatz im biophysikalischen Kontext der Säugetiere mit konstanter Körpertemperatur angewandt, sodass kleine und große Tiere unterschiedliche Mechanismen verwenden müssen, um nicht auszukühlen (z.B.: große Nahrungszufuhr bei kleinen Tieren) oder überschüssige Energie abzuführen (z.B.: Schwitzen bzw. Hecheln bei großen Tieren).

Zudem kann auf Basis physikalischer Grundlagen in Bezug auf Körperoberfläche und Volumen erklärt werden, warum kleine und große Tiere unterschiedliche Proportionen besitzen (z.B.: Skelettanteil) und unterschiedlich aussehen.

Tabelle 5: Didaktische Analyse „Aus einer Maus einen Elefanten machen“

3.2.3 Analyse der Aufgabestellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“

Die Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“ (vgl. Anhang 3) gliedert sich in drei Teilabschnitte. Der erste Abschnitt behandelt die Stoffwechselintensität von Säugetieren. In einem einleitenden Informationstext wird erläutert, was der Begriff der Stoffwechselintensität bedeutet und wie Säugetiere ihre Körpertemperatur das ganze Jahr über aufrechterhalten. Die dahinter liegende Key Idea ist der Grundsatz der Energieerhaltung. Empirisch wurde ein Proportionalitätsverhältnis zwischen der Stoffwechselintensität und der Masse hoch $\frac{3}{4}$ des jeweiligen Tieres festgestellt, mit dem in den folgenden beiden Aufgaben die Stoffwechselintensitäten von Elefant und Mensch abgeschätzt und die entsprechenden Ergebnisse mit empirisch gefundenen Werten verglichen werden. Im zweiten Abschnitt wird der Grundumsatz in einem kurzen Text erklärt und in entsprechenden Rechenaufgaben der Grundumsatz von sowohl Maus, Mensch als auch Elefant ermittelt. In der darauffolgenden Aufgabe werden Schlüsse gezogen, wie sich Stoffwechselintensität und Grundumsatz bei kleinen und großen Tieren unterscheiden (S-Kompetenz). Im abschließenden dritten Teil der Aufgabenstellung werden Oberfläche und Volumen der Maus bestimmt und ermittelt, mit welcher Größenordnung sich das Volumen bzw. die Körperoberfläche vergrößern. Zuletzt wird auch aufgrund des unterschiedlichen Skelettanteils kleiner und großer Tiere argumentiert, wieso große Tiere eine verhältnismäßig geringere Stoffwechselintensität besitzen.

Die Aufgabenstellung wird detaillierter mit folgendem Raster nach Kauertz u.a. analysiert (vgl. Kauertz, u.a., 2015, S. 461):

Analyse einer Aufgabenstellung	
Formale Aspekte	
Unterrichtsphase/ Testsituation	Lernaufgabe
Anzahl der Lösungswege/Offenheit	teilweise offen: Aufgabenstellungen, bei denen Schlüsse gezogen werden sollen, lassen verschiedene Lösungswege zu, auch bei Rechenaufgaben sind teilweise mehrere Arten der Lösung möglich. Bsp. für eine geschlossene Aufgabenstellung: Teil III /A7: Berechnung der Körperoberfläche und des Volumens der Maus
Antwortformat	größtenteils geschlossen (bestimmtes Rechenergebnis) Aufgabenstellungen, bei denen Schlüsse gezogen werden sollen, lassen verschiedene Argumentationslinien zu.
Experimenteller Anteil	-
Statistische Güte	-
Inhaltsbezogene Aspekte	
Komplexität	- Sicherheit bei der Berechnung direkter und indirekter Verhältnisse - Kenntnis von Zehnerpotenzen und Größenordnungen - Kenntnis der Oberflächen- und Volumenformel der Kugel - Einige Aufgaben sprechen die S-Kompetenz an - Rechenergebnisse müssen physikalisch interpretiert werden können
Curricularer Bezug	- 3. Klasse AHS Unterstufe: Unser Leben im „Wärmebad“: Die Bedeutung von Wärmeenergie für Lebewesen in ihrer Umwelt verstehen - 5./6. Klasse AHS Oberstufe: den nachhaltigen Umgang mit Energie beherrschen (vgl. Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort, 2020)
Verfügbarkeit von Fachwissen	Die Informationstexte zu Beginn des jeweiligen Abschnitts dienen der Einführung des notwendigen Vokabulars bzw. der

	Erläuterung der biologischen und physikalischen Zusammenhänge und Gegebenheiten. Ausnahmen: vgl. Teil III: Verhältnis zwischen Körperoberfläche und Volumen verschiedener Tiere
Basiskonzept/Leitidee	Der Energieerhaltungssatz gilt auch für Lebewesen und kann auf Grundlage der Stoffwechselintensität, des Grundumsatzes und des Verhältnisses zwischen Körperoberfläche und Volumen argumentiert werden.
Fähigkeitsbezogene Aspekte	
Kompetenzbereich	Fachwissen (z.B.: Teil I / A1), Erkenntnisgewinn (z.B.: Teil I / A2) und Bewertung (z.B.: Teil II / A6)
Kompetenzstufung	Es sind Aufgaben der Stufen I, III und IV vertreten.
Kognitive Aspekte	Beispiele für Arbeitsaufträge der Aufgabenstellung, die verschiedene kognitive Aspekte ansprechen: Reproduktion (= Stufe I): Teil III / A7 Transfer (=Stufe III): Teil I / A2 Problemlösendes Denken (=Stufe IV): Teil III / A9
Beziehung zu Lern-/Testsituationen	
Bezug Schülervorstellungen	vgl. Didaktische Analyse (Kapitel 3.2.2)
Kontextualisierung	Biophysikalischer Kontext: körperliche Gegebenheiten von Säugetieren
Beziehung zu umgebenden Aufgaben	-

Tabelle 6: Analyseraster „Aus einer Maus einen Elefanten machen“

4 ERPROBUNG DER AUFGABENSTELLUNGEN

Die im vorangehenden Kapitel 3 entwickelten Aufgabenstellungen werden im nun folgenden Kapitel 4 mit Schüler*innen erprobt. Vor der Erprobung wurden jeweils Pilotstudien mit Schüler*innen durchgeführt, die sich in einer ähnlichen Altersklasse befinden (8. bzw. 9. Schulstufe) und ein ähnliches Interessensprofil aufweisen (Schüler*innen des Laborzweigs bzw. Schüler*innen, die Physikolympiade-Kurse besuchen) wie die Schüler*innen, mit denen später die Akzeptanzbefragungen durchgeführt wurden. Die Erkenntnisse und Anregungen, die aus den Pilotstudien bereits vorab gewonnen werden konnten, werden im Kapitel 4.1 dargelegt. Im anschließenden Kapitel 4.2 wird die Methode der Akzeptanzbefragung (auch unter Einbezug deren Vor- und Nachteile) vorgestellt sowie dargelegt, was bei der Durchführung einer Akzeptanzbefragung und späteren Interpretation beachtet werden muss. Um die Akzeptanzbefragungen zu strukturieren, wird in Kapitel 4.3 der Aufbau des Interviewleitfadens erläutert. Die konkreten Ausarbeitungen der Interviewleitfäden für die Aufgabenstellungen sind dem Anhang 5 bzw. 6 zu entnehmen. Nach diesen vorangehenden Arbeitsschritten folgen die Rahmenbedingungen zu den Erprobungen der beiden Aufgabenstellungen (vgl. Kapitel 4.4) und die detaillierte Auswertung der Transkripte des aufgenommenen Gesprächsmaterials in Kapitel 4.5. Hierbei werden wichtige Aussagen aus den Transkripten (vgl. Anhang 7-10) zusammengefasst dargestellt und für jede*n Schüler*in und jede Teilaufgabe begründet, wie erfolgreich bzw. wenig erfolgreich sie von den Schüler*innen im Rahmen der Akzeptanzbefragung bearbeitet werden konnte. Überblicksmäßig kann diese Kategorisierung in tabellarischer Form in Kapitel 4.6 eingesehen werden.

4.1 Durchgeführte Pilotstudien zu den beiden Aufgabenstellungen

Im folgenden Kapitel 4.1 werden die Pilotstudien vorgestellt, die vor der Erprobung der Aufgabenstellungen mittels Akzeptanzbefragung im Rahmen der Masterarbeit durchgeführt wurden. Die Erprobung der Aufgabenstellung „Elektronik der Nervenzelle“ fand im Frühjahr 2020 an einem Realgymnasium in Wiener Neustadt statt. Die Aufgabenstellung wurde dreimal mit Schüler*innengruppen zu je 4-5 Personen an verschiedenen Tagen durchgenommen und Feedback von den Schüler*innen eingeholt. Die Erprobung erfolgte in einem naturwissenschaftlichen Laborzweig in der 8. Schulstufe. Die Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“ wurde bereits ein Jahr zuvor (Frühjahr 2019) im Rahmen eines Physikolympiade-Kurses einmalig mit fünf Schüler*innen der 8. bzw. 9. Schulstufe an der

Universität Wien erprobt. Die Aufgabenstellung wurde vorab in einem Masterseminar für Lehramtsstudent*innen zur Begabungsförderung im Physikunterricht an der Universität Wien entwickelt. Es wurde ebenfalls das Feedback der Schüler*innen und zusätzlich das Feedback der Seminarteilnehmer*innen eingeholt.

4.1.1 Pilotstudie zur Aufgabenstellung „Elektronik der Nervenzelle“

Die Aufgabenstellung zur „Elektronik der Nervenzelle“ wurde vorab in einem Wiener Neustädter Gymnasium von Mai bis Juni 2020 erprobt. Dazu wurden Schüler*innen der 4. Klasse Unterstufe ausgewählt, die den naturwissenschaftlichen Laborzweig besuchen. In diesem Laborzweig haben die Schüler*innen neben dem Regelunterricht in den naturwissenschaftlichen Fächern jeweils 14-tägig Doppeleinheiten, in denen Experimente durchgeführt und protokolliert werden. Im Physikunterricht der 4. Klasse wird die Klasse in zwei Gruppen geteilt, wobei jede Gruppe alle zwei Wochen eine Physik-Laboreinheit besucht. Aufgrund des Corona-Virus (CoVid-19) wurde die Schule vom 15. Mai bis 3. Juli 2020 in Form eines Schichtbetriebes geführt. Es war somit immer nur die Hälfte der Klasse im Schulgebäude anwesend, während die andere Hälfte zu Hause mit Lernmaterialien versorgt wurde. In jeder Laboreinheit war durch die weitere Unterteilung in Physik- und Chemielabor somit nur ca. ein Viertel der Schüler*innen einer Klasse anwesend. Im Corona-Schichtbetrieb wurden die Laborgruppen so aufgeteilt, dass jeweils entweder die anwesenden Burschen oder die anwesenden Mädchen am Physiklabor teilnahmen. Im Regelunterricht sind die Laborgruppen hingegen gemischt. Die ersten beiden Vorerprobungen der Aufgabenstellung fanden mit jeweils 4 beziehungsweise 5 Mädchen am 28.5.2020 und am 4.6.2020 statt. Die dritte Erprobung wurde mit 5 Burschen am 18.6.2020 abgehalten (vgl. auch Tabelle 7).

Datum	Schüler*innengruppe	Durchführung der Aufgabenstellung
28.5.2020	5 Mädchen (4. Klasse) Sek I	bis Teil III /A4
4.6.2020	4 Mädchen (4. Klasse) Sek I	bis Teil III /A5
18.6.2020	5 Burschen (4. Klasse) Sek I	bis Teil III /A4

Tabelle 7: Übersicht zur Erprobung der Aufgabenstellung „Elektronik der Nervenzelle“

Alle Schüler*innen besuchten dieselbe Klasse und hatten kein Vorwissen im Gebiet der Elektronik. Allerdings kannten sie bereits die Grundlagen zum elektrischen Stromkreis und auch der prinzipielle Umgang mit den Versuchsmaterialien war ihnen vertraut.

Die Aufgabenstellung wurde nicht in Form einer Akzeptanzbefragung durchgeführt, aber aufgrund der geringen Gruppengröße war es möglich, den Unterricht ähnlich einer Akzeptanzbefragung zu gestalten. Vor der Erläuterung des ersten Informationstextes wurde von der Lehrperson an der Tafel eine Zelle aufgezeichnet und erklärt, dass die Zellmembran die Grenzschicht zwischen dem Zellinneren und –äußeren darstellt und wie die Abbildung 1 der Aufgabenstellung (vgl. Anhang 1) dies veranschaulicht. Des Weiteren wurde vorab wiederholt, wie sich Ladungsträger zueinander verhalten und wann es zu einer Potentialdifferenz kommt. Wie im für die Akzeptanzbefragung gestalteten Interviewleitfaden erklärte die Lehrperson die jeweiligen Informationstexte für die Schüler*innen mündlich und die Schüler*innen hatten die Möglichkeit, Fragen bei Unklarheiten zu stellen und erhielten detailliertere Erklärungen. Die Schüler*innen lasen sich im Anschluss die zugehörigen Aufgabenstellungen selbstständig durch. Bei der Bearbeitung der Aufgabenstellungen durften die Schüler*innen allerdings zusammenarbeiten. Falls es den Schüler*innen schwer fiel, eine Aufgabenstellung eigenständig zu bearbeiten, wurden zunächst Ideen zur Lösung im Plenum diskutiert und gegebenenfalls auch von der Lehrperson eine kleinschrittigere Anleitung vorgegeben. Wichtige Informationen und Anhaltspunkte zu möglichen Lösungswegen wurden von der Lehrperson an der Tafel notiert.

In der Doppelstunde von 2 x 50 Minuten konnte die Aufgabenstellung mit allen drei Gruppen bis zur Durchführung des Experiments einschließlich der zugehörigen Fragen zum Experiment erarbeitet werden. Der letzte Teil zur Kapazität und die abschließende Denkaufgabe konnte aus zeitlichen Gründen mit den Schüler*innen nicht durchgemacht werden. Am Ende der Unterrichtseinheit wurde jede Schüler*innengruppe befragt, was sie an der Aufgabenstellung selbst bzw. an der Formulierung der Arbeitsaufträge verändern würde.

Im Folgenden werden die wichtigsten Verbesserungsvorschläge durch die Schüler*innen aus der Pilotstudie zusammengefasst dargestellt:

- Um die Übersichtlichkeit der Aufgabenstellung zu verbessern, gaben die Schüler*innen die Anregung, hinsichtlich der Abbildung zur Darstellung des Ruhezustands die Begriffe „Zellinneres“ und „Extrazelluläre Flüssigkeit“ fett hervorzuheben, damit deutlicher wird, was der Membranabschnitt abtrennt. Außerdem sollte der Begriff „Extrazelluläre Flüssigkeit“ durch „Zelläußeres“ ergänzt werden, damit die Bedeutung des Begriffs deutlicher wird.
- Des Weiteren baten die Schüler*innen darum, in derselben Abbildung den Namen des Chlor-Teilchens (anstelle des Cl^- -Symbols) auszuschreiben, da dieses Molekül im Informationstext nicht erklärt wird.
- Ein Schüler gab auch an, dass die Farben der Symbole für das Natrium- und das Kalium-Ion schwierig auseinanderzuhalten wären und es möglicherweise besser wäre, stärker unterscheidbare Farben zu verwenden.
- Hinsichtlich der Fragestellungen zum Ruhezustand der Nervenzelle wurde angemerkt, dass Frage 4 zur grafischen Darstellung der minimalen chemischen Potentialdifferenz als Gedankenexperiment ausgewiesen werden sollte, da die minimale chemische Potentialdifferenz unter normalen Bedingungen in der Nervenzelle nicht erreicht werden könnte.
- Fragestellung 6 zur Potentialdifferenz von -70 mV wurde als unklar eingestuft und die Schüler*innen konnten aus dieser Fragestellung nicht herauslesen, dass diese Fragestellung auf die Bedeutung des Vorzeichens bei dieser Potentialdifferenz abzielt und wie man von der Ladungsverteilung auf das Vorzeichen schließen kann.
- Beim dritten Teil zum Experiment wurde von den Schüler*innen zu Aufgabe 4 bemerkt, dass man nicht 10 Sekunden warten müsse, bevor der Schaltkreis verändert werden könne, da das sichtbare Laden bzw. Entladen des Kondensators in Form des Leuchtens des Glühbirnchens viel schneller vor sich gehe und die Zeitangabe daher weggelassen werden könne.

Gesamt kann nach der mehrmaligen Testung der Aufgabenstellung mit dieser kleinen Schüler*innengruppe gefolgert werden, dass die Aufgabenstellung zur Bearbeitung mit der 4. Klasse Unterstufe geeignet ist. Exemplarisch wurde von jeder der drei Gruppen ein ausgefüllter Arbeitsauftrag eingesammelt und bei der Durchsicht dieses konnte festgestellt werden, dass die

Schüler*innen annähernd alle Einzelaufgaben richtig ausgefüllt hatten. Auch wenn die Aufgaben teilweise gemeinsam erarbeitet wurden, wurde die Formulierung der endgültigen Antwort auf dem Arbeitsblatt von den Schüler*innen selbst vorgenommen. Da es dabei keine bzw. kaum Schwierigkeiten gab, kann darauf geschlossen werden, dass die Aufgabenstellungen für die Schüler*innen machbar und nachvollziehbar waren. Es muss allerdings angemerkt werden, dass die gewählte Schüler*innengruppe bereits biologische Vorkenntnisse zur Nervenzelle aus dem Biologieunterricht besaß, wie im Laufe der Erprobung deutlich wurde und sich generell eher naturwissenschaftlich interessierte und begabte Schüler*innen für den Laborzweig entscheiden, weswegen diese Gruppe eher nicht mit einer durchschnittlichen Schulklasse gleichgesetzt werden kann. Auch wenn die Aufgabenstellung im gemeinsamen Plenumsgespräch für die Schüler*innen schaff- und durchführbar ist, kann angezweifelt werden, ob Schüler*innen der vierten Klasse im Allgemeinen die Aufgabenstellung nur auf Basis der in den Informationstexten gegebenen Informationen selbstständig ausführen können. Entsprechend der zahlreichen Hilfestellungen und Diskussionsfragen, die durch die Lehrperson in allen drei Gruppen geboten und gestellt wurden, kann schlussgefolgert werden, dass für eine Verwendung dieser Aufgabenstellung im Regelunterricht in der vierten Klasse eine strukturierte Anleitung durch die Lehrperson erforderlich ist.

Hinsichtlich der Formulierung der Aufgaben- und Fragestellungen und der Aufbereitung der Aufgabenstellung kann nach der Erprobung gesagt werden, dass abgesehen von den zuvor bereits genannten Punkten die Aufgabenstellung für die Schüler*innen aller drei Gruppen entsprechend ihrer eigenen mündlichen Angaben als verständlich und klar formuliert wahrgenommen wurde. In den Augen der Schüler*innen wurden auch die notwendigen neuen Begriffe gut erklärt. Die Gestaltung der Aufgabenstellung selbst wurde von den Schüler*innen als übersichtlich eingestuft und vor allem die Abbildung 1 zum Ruhezustand der Nervenzelle wurde als deutliche Verständnishilfe genannt.

Entsprechend den Anregungen der Schüler*innen wurde in der Aufgabenstellung „Elektronik der Nervenzelle“ die Bezeichnungen in der Abbildung zum Ruhezustand der Nervenzelle (Zelläußeres und Chlor) ergänzt und wichtige Begriffe fett hervorgehoben. Auf die Anregung, die farbliche Markierung der Natrium- und Kalium-Ionen deutlicher unterscheidbar zu gestalten, wurde nicht eingegangen, da die meisten Schüler*innen die Teilchen gut auseinanderhalten konnten. Außerdem soll die pinke bzw. rote Färbung signalisieren, dass es sich in beiden Fällen um positive Ladungsträger handelt. Im ersten Abschnitt wurde die Aufgabe 4 zur Darstellung der minimalen chemischen Potentialdifferenz nicht als

Gedankenexperiment ausgewiesen, da so schon vorweggenommen wird, dass diese Variante in einer gesunden Nervenzelle nicht möglich ist und die Möglichkeit zur Diskussion darüber dann nicht mehr gegeben ist. Fragestellung 6 zur Ladungsverteilung nach dem Einstellen der minimalen chemischen und elektrischen Potentialdifferenz wurde ebenfalls so belassen, da durch vorangehende Aufgabenstellungen (Teil I / A5) schon implizit erarbeitet wurde, dass sich im Ruhezustand der Nervenzelle im Zellinneren mehr negative Ladungsträger befinden. Es ist die Transferleistung der Schüler*innen, mithilfe der bereits bekannten Informationen und der neuen Information der Potentialdifferenz von -70 mV eine Aussage über die Verteilung der positiven und negativen Ladungsträger zu treffen. Bei der experimentellen Aufgabenstellung zur Nachstellung der Situation in der Nervenzelle wurde die Zeitangabe von 10 Sekunden, wie rückgemeldet, weggelassen, da sichtbare Ergebnisse (Leuchten des Lämpchens) auch schon mit einer deutlich kürzeren Wartezeit möglich sind.

4.1.2 Pilotstudie zur Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“

Die Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“ wurde bereits vorab am 10.5.2019 im Physikolympiade-Kurs der Universität Wien getestet.

Die Lerngruppe bestand aus vier Burschen, von denen drei die 9. Schulstufe besuchten und einer die 10. Schulstufe, und einem Mädchen, das die 8. Schulstufe besuchte. In dieser Vorerprobung wurde die Aufgabenstellung nicht wie bei der Pilotstudie zur „Elektronik der Nervenzelle“ gemeinsam mit der Lehrperson im Gespräch, sondern von den Schüler*innen eigenständig erarbeitet. Die notwendigen Informationen werden durch die zugehörigen Informationstexte bereitgestellt. Bei etwaigen Fragen gab die Lehrperson allerdings Auskunft und bot Denkanstöße. Einer der Schüler kam erst später hinzu, als die meisten anderen bereits die ersten Aufgaben gelöst hatten, konnte aber dennoch mit den anderen gemeinsam die Aufgabe abschließen. Ein Schüler war besonders schnell und beendete die Aufgabenstellung bereits nach ca. 35 min., während die anderen Schüler*innen ca. gleich schnell waren und etwa 1h 20 min. benötigten.

Das Feedback der Schüler*innen zur Aufgabenstellung war fast durchwegs positiv. Das Mädchen gab an, dass es sehr gerne rechnen würde und daher die Aufgabe für sie sehr interessant gewesen wäre. Einer der Burschen aus der 9. Schulstufe meinte, dass er die biologischen Inhalte interessant fände und dass er es auch als gut empfinden würde, dass man bei manchen Aufgaben nachdenken musste und nicht immer sofort klar war, wie beim Lösen der Aufgabenstellung vorgegangen werden musste. Ein Schüler hätte es besser gefunden, wenn

manche Teilaufgaben zusammengefasst worden wären (gemeint waren Aufgabe 4 und 5), da dann das Ziel der Aufgabenstellung klarer ersichtlich geworden wäre. Auf diesen Änderungswunsch wurde allerdings nicht eingegangen, da die Bearbeitung der einzelnen Aufgaben übersichtlicher ist, wenn die Teilaufgaben nicht zu viele Unterfragen enthalten.

Den Schwierigkeitsgrad der Aufgabe befanden alle Schüler*innen für angemessen, also nicht zu einfach, aber mit gezielten Überlegungen durchaus zu schaffen.

Der Lehrperson (mir selbst) fiel zu Beginn sofort auf, dass die Schüler*innen alleine arbeiteten und sich bei der Bearbeitung der Aufgaben nicht mit ihrem*r Sitznachbarn*in austauschten. Es war überraschend, dass die Schüler*innen nicht in der Gruppe diskutierten und dann eine gemeinsame Lösung suchten. Es machte vielmehr den Eindruck, dass die Schüler*innen die Aufgaben alleine schaffen und sich selbst erarbeiten wollten. Daher wurde jede*r einzeln unterstützt. Bis auf den bereits genannten Burschen, der schneller als alle anderen die Aufgabe beendete und der diese in konstantem Tempo und fehlerlos löste, schien es, als wären vor allem die ersten beiden Aufgaben, bei denen mit dem Verhältnis gerechnet werden musste, schwierig für die Schüler*innen gewesen. Für diese beiden Aufgaben benötigten die Schüler*innen länger als für alle restlichen Aufgaben gemeinsam und jede*r der vier Schüler*innen musste einzeln an diese Aufgabe herangeführt werden. Die Aufgaben 3-9 konnten die Schüler*innen fast eigenständig lösen, es passierten auch kaum Fehler beim Rechnen und Umwandeln der Einheiten, was bestätigt, dass die Schüler*innen in diesen Dingen bereits sehr fit sind. Auch die Schlussfolgerungen konnten von allen Schüler*innen eigenständig gezogen werden, nur dem Mädchen musste bei der letzten Aufgabe 9 etwas geholfen werden, da es nicht ganz verstand, wie vom Skelettanteil auf den verhältnismäßig geringeren Grundumsatz von großen Tieren geschlossen werden kann.

Im Gesamten kann angenommen werden, dass die Aufgabenstellung in Bezug auf die Länge und den Schwierigkeitsgrad angemessen war und dass die Maus und der Elefant gut gewählt sind, um die biophysikalischen Unterschiede zwischen großen und kleinen Tieren zu thematisieren. Auf Nachfrage, ob ein Experiment eine sinnvolle Ergänzung zur Aufgabenstellung gewesen wäre, wurde gemeint, dass es nicht notwendig gewesen wäre.

Die Aufgabenstellung wurde außerdem am 5.6.2019 vor den Teilnehmer*innen des Universitätsseminars zur Begabungsförderung an der Universität Wien präsentiert, in dessen Rahmen die Aufgabenstellung entwickelt wurde. Die Studienkolleg*innen gaben ebenfalls Feedback für mögliche Veränderungen bzw. Verbesserungen. Diese werden nun im Folgenden angeführt:

- Die ursprünglich erste Frage 1a) „Schätze die Stoffwechselintensität eines Elefanten P_{Elefant} mit $m_{\text{Elefant}}=4 \text{ t}$ ab!“ wurde umformuliert in „Schätze die Stoffwechselintensität eines Elefanten P_{Elefant} mit einer Masse $m_{\text{Elefant}}= 4 \text{ t}$ mithilfe des gegebenen Proportionalitätsverhältnisses ab!“

Diese Änderung wurde vorgenommen, weil die ursprüngliche Fragestellung laut Anmerkung eines Seminarteilnehmers dazu führen könnte, dass die Stoffwechselintensität des Elefanten im Kopf abgeschätzt wird, obwohl in der Aufgabenstellung gemeint war, dass die Berechnung durch das Proportionalitätsverhältnis bereits eine Schätzung darstellt.

- Des Weiteren machte ein Kollege darauf aufmerksam, dass die Aufgabenstellungen besser mit 1,2,3... anstelle von 1a), 1b), 1c), ... zu nummerieren wären, da es ansonsten den Anschein erwecken würde, dass noch eine zweite Aufgabenstellung im Anschluss folgt. Diese Änderung wurde ebenfalls für die Aufgabenstellung übernommen, die im Rahmen der Akzeptanzbefragung erprobt wurde.

4.2 Methode der Akzeptanzbefragung

Wie bereits durch zahlreiche Studien belegt wurde, haben Schüler*innen häufig gerade beim Verständnis physikalischer Schlüsselideen Probleme. Ob sich ein Lernerfolg bei den Schüler*innen einstellt, hängt in hohem Maße von dem*r Schüler*in selbst ab. Dabei ist es wichtig, zu berücksichtigen, was der*die Schüler*in von sich selbst denkt, welche Einstellungen und Motive er*sie mitbringt, wie gelernt wird und was bereits an Vorwissen vorhanden ist. Die Methode der Akzeptanzbefragung nimmt sich genau das zum Ziel, nämlich, mögliche Lernhindernisse festzustellen und die verschiedenen Lernverläufe der Schüler*innen kennenzulernen, um darauf bei der Entwicklung von Unterrichtskonzepten eingehen zu können und die Akzeptanz physikalischer Erklärungen und Theorien zu fördern (vgl. Wiesner & Wodzinski, 1996, S. 250-251). Basis der Methode ist die konstruktivistische, epistemologische Sicht des Lernens, nach der Wissen aktiv und in der sozialen und materiellen Lernumgebung generiert wird (vgl. Komorek & Duit, 2004, S. 622).

Ausgangspunkt zur Entwicklung dieser Methode war, dass in einem herkömmlichen Interview nur schwer festgestellt werden kann, ob die (Lernenden-)Vorstellungen des*r Befragten bereits vor dem Gespräch vorhanden waren oder erst durch das Gespräch entstanden sind. Für den*die Interviewer*in kann es schwierig sein, eine Grenze zwischen Befragen und Lehren zu ziehen. Wenn didaktische Erkenntnisse gewonnen werden sollen, wäre es daher erstrebenswert, eine

Methode anzuwenden, bei der es sogar gewünscht ist, dass der*die Interviewer*in auch als Lehrende*r auftritt. Mit der Akzeptanzbefragung soll diese Diskrepanz gelöst werden, indem die Wissensvermittlung in die Befragung eingebunden wird (vgl. Jung, 1992, S. 278).

Diese Methode bietet die Möglichkeit, dass die Einstellungen der Schüler*innen und deren Entwicklung in der Tiefe untersucht werden können und der*die Interviewer*in flexibel und individuell reagieren kann. Es wird aber darauf hingewiesen, dass die Durchführung der Methode lange dauert und sie nicht statistisch ausgewertet werden kann (vgl. Komorek & Duit, 2004, S. 631).

Wie eine Akzeptanzbefragung im Detail durchgeführt und interpretiert wird, wird in Kapitel 4.2.1 ausgeführt sowie die gewonnenen Erkenntnisse aus bereits durchgeführten Akzeptanzbefragungen in Kapitel 4.2.2.

4.2.1 Durchführung und Interpretation der Akzeptanzbefragung

Bei der Erstellung einer Akzeptanzbefragung wird zunächst ein Sachinhalt auf seine Key Ideas elementarisiert. Entsprechend dieser werden dann die didaktischen Anleitungen für die Akzeptanzbefragung erstellt, welche schließlich mit den Schüler*innen durchgenommen und zuletzt von der Lehrperson ausgewertet und interpretiert werden (vgl. Komorek & Duit, 2004, S. 622).

Bei der Durchführung der Methode wird zu Beginn von der Lehrperson eine kompakte Erklärung zu einem gewählten Sachverhalt präsentiert (vgl. Jung, 1992, S. 280). Diese Erklärung erfolgt mündlich. Unbekannte Begriffe werden geklärt und Beispiele angeführt (vgl. Wiesner und Wodzinski, 1996, S. 256, nach Jung u.a., 1998). Daraufhin wird der*die Befragte nach seiner*ihrer Meinung zur gebotenen Erklärung gefragt (vgl. Jung, 1992, S. 280). Der*Die Schüler*in ordnet die Erklärung zum Beispiel in einem Spektrum von gut bis schlecht, von verständlich bis unverständlich oder von plausibel bis nicht plausibel ein. Im Anschluss soll der*die Schüler*in das Gesagte in eigenen Worten wiedergeben (=paraphrasieren) und schließlich auf ein neues Beispiel anwenden. So erforscht die Lehrperson schrittweise, ob das physikalische Konzept angenommen wird. Falls sich bei den Schüler*innen Unklarheiten ergeben oder Erklärungslücken auftauchen, werden Teilkomplexe von den Schüler*innen bewertet und neue Informationen durch die Lehrperson geboten, welche wieder bewertet und diskutiert werden (vgl. Wiesner & Wodzinski, 1996, S. 256, nach Jung u.a., 1988).

Im Unterschied zum herkömmlichen Unterricht findet ein individuelles Gespräch zwischen einem*r Experten*in und einem*r Schüler*in statt (vgl. Jung, 1996, S. 278). Durch gezielte

Fragestellungen wird so ermittelt, inwieweit die Schüler*innen die Inhalte verstanden haben und auch auf ähnliche Phänomene übertragen und anwenden können. Die möglichen Lernhindernisse werden dadurch ausgemacht, wie die Schüler*innen auf die präsentierten Inhalte reagieren (vgl. Wiesner & Wodzinski, 1996, S. 250). Da die Lehrperson gleichzeitig Interviewer*in und Lehrer*in ist und die Aussagen der Schüler*innen interpretiert, muss sie auch an den richtigen Stellen im Gespräch intervenieren (vgl. Komorek & Duit, 2004, S. 623). Wenn die Erklärung des*der Schülers*in unvollständig oder nicht korrekt ist, kann die Lehrperson zum Beispiel weiterführende Fragen stellen, die den Schüler*innen dabei helfen können, selbst die Mängel ihrer Erklärung zu erkennen.

Dabei ist es nicht nur wichtig, herauszufinden, auf welche Vorstellungen aus den Reaktionen der Schüler*innen auf alternative Erklärungen geschlossen werden kann, sondern auch, ob eine Vorstellung auch bei anderen Beispielen oder in anderen Kontexten angewandt wird, also wie stabil die Vorstellung ist (vgl. Wiesner & Wodzinski, 1996, S. 253).

Bei den Aussagen der Schüler*innen kann darauf geachtet werden, ob sie Transformationen anwenden. Das bedeutet, dass sie bestimmte Begriffe durch ähnliche ersetzen, hinter denen aber ein anderes Konzept steht. Des Weiteren kann analysiert werden, welche Analogien genutzt werden und ob Ideen spontan formuliert werden. Spontan formulierte Aussagen können weder als Vorwissen noch als durch die von der Lehrperson gebotene Erklärung generiert gesehen werden. Häufig nehmen Schüler*innen auch Generalisierungen vor, die auch zu weit gehen können (vgl. Jung, 1992, S. 284-286).

Es ist auch wichtig, im Hinterkopf zu behalten, dass unterschiedliche Schüler*innen unterschiedlich auf Gesagtes reagieren. So heben manche Schüler*innen besonders das hervor, was ihnen seltsam vorkommt, andere hingegen blenden Konzepte, die ihnen merkwürdig vorkommen, eher aus. In letzterem Fall ist es möglich, dass die Erklärung gar nicht angenommen bzw. als zu komisch eingestuft und daher abgelehnt wird. Vorsicht ist auch dabei geboten, das erfolgreiche Wiedergeben der sachlichen Erklärung durch die Schüler*innen mit einer Akzeptanz dieser Erklärung zu verwechseln. Denn selbst wenn der*die Befragte die gebotenen Inhalte in eigenen Worten wiederholen kann, heißt das nicht, dass er*sie sich mit diesen identifiziert und von der Erklärung überzeugt ist (vgl. Jung, 1992, S. 290). Aufschluss über den Grad des Verstehens der Schüler*innen können häufig die Verben geben, die die Schüler*innen zur Formulierung ihrer Ideen verwenden. Bei der Unterscheidung der verschiedenen Grade des Verständnisses macht es einen Unterschied, ob die Schüler*innen ihre Aussage mit „Ich könnte mir vorstellen, dass...“ oder mit „Ich denke, dass...“ bzw. „Ich bin überzeugt davon, dass...“ einleiten. Der erste Schritt des Verstehens kann es schon sein, wenn

Schüler*innen sich die gebotene Erklärung als Möglichkeit vorstellen können. Der nächste Schritt wäre, die gewonnenen Konzepte anzuwenden und erst im letzten Schritt des Verstehens geht es auch darum, von der Theorie überzeugt zu sein (vgl. Jung, 1992, S. 293).

4.2.2 Konsequenzen aus bereits durchgeführten Akzeptanzbefragungen

Zur Durchführung eigener Akzeptanzbefragungen kann sich bereits auf einige Erkenntnisse aus der bisherigen Forschung gestützt werden, welche im Folgenden exemplarisch angeführt werden.

In der Akzeptanzbefragung von Jung (1992) zum Thema Licht und Sehvorgang wurde herausgefunden, dass vor allem die Demonstration der Phänomene für das Verständnis hilfreich war (vgl. Jung, 1992, S. 292). Die sprachliche Korrektheit der Erklärungen sowie Illustrationen und richtige Darstellungen stellten sich ebenfalls als wichtig heraus (vgl. Wiener u.a., 2015, S. 315).

Es ist außerdem hilfreich, wenn von dem*r Experten*in nicht der Eindruck vermittelt wird, dass durch Physik alles erklärt werden kann, sondern deutlich gemacht wird, dass auch die Wissenschaft Grenzen besitzt. Da die Erklärung auf basale Inhalte reduziert wird, kann außerdem nicht erwartet werden, dass es im Zuge der Befragung möglich ist, die gebotene Theorie zu „beweisen“. Möglicherweise kommen von den Schüler*innen Fragen auf, die durch die ausgeführte Erklärung nicht schlüssig beantwortet werden können. Das kommt daher, dass der Alltag, in dem wir leben und teilweise auch die Experimente, die gezeigt werden, häufig komplex sind. Oft ist es schwierig, Beobachtungen anzustellen, die mit der Theorie im Einklang stehen, vor allem, wenn diese auf die wichtigsten Inhalte reduziert wurde. Alltägliche Phänomene können kaum vollständig beschrieben werden. Daher ist es schwierig, Schüler*innen von einer Theorie zu überzeugen und es kann nicht erwartet werden, dass dies innerhalb weniger Unterrichtseinheiten bzw. Befragungen passiert. Es ist sogar wissenschaftlicher, zu denken, dass es einen längeren Zeitraum in Anspruch nehmen sollte, bis jemand von einer Theorie wirklich überzeugt ist. Ob diese Theorie auch wahr ist, kann ohnehin nicht beantwortet werden, auch wenn sich die Schüler*innen (möglicherweise auch im Rahmen der Befragung) eine klare Antwort wünschen (vgl. Jung, 1992, S. 292).

Trotz des langen Prozesses, den es benötigt, um von einer Theorie überzeugt zu sein, wurde etwa bei Wiesner und Wodzinski (1996) gezeigt, dass durch eine längere Akzeptanzbefragung sehr wohl eine Änderung des Denkverhaltens stattfinden kann. Es wurde beobachtet, dass die Schüler*innen zu Beginn der Befragung häufig auf die gewohnte Alltagsvorstellung

zurückgreifen und somit die gebotene Erklärung eher nicht akzeptieren. Im Verlauf der Befragung freunden sich jedoch viele immer mehr mit der physikalischen Erklärung an und am Ende der Befragung sind die meisten Schüler*innen in Richtung der physikalischen Vorstellung gerückt und eine Verbesserung im Vergleich zum Beginn der Befragung ist erkennbar (vgl. Wiesner u. Wodzinski, 1996, S. 261). Auf solche Veränderungen der Denkmuster der Schüler*innen ist bei der Interpretation des Gesprächsmaterials zu achten.

In einem Modellexperiment von Komorek und Duit (2004) wurde herausgefunden, dass es zudem sinnvoll sein kann, Interviews mit zwei Schüler*innen anstelle eines Einzelgesprächs zu führen, da so die Schüler*innen miteinander interagieren können, wodurch das Verständnis gefördert werden kann (vgl. Komorek u. Duit, 2004 S. 629). Auch diese Möglichkeit kann in Betracht gezogen werden.

4.3 Entwicklung der Interviewleitfäden für die beiden Aufgabenstellungen

Um die beiden in Kapitel 3 entwickelten Aufgabenstellungen mittels einer Akzeptanzbefragung zu erproben, wurde jeweils zur Strukturierung der Befragung ein Interviewleitfaden erstellt. In diesem wird das Gespräch jeweils in wesentliche Teilabschnitte gegliedert, es werden wichtige Fragestellungen und möglicherweise notwendige Zusatzinformationen angeführt. Bei der Entwicklung vor der Befragung wurde von der Lehrperson überlegt, wo die Schüler*innen bei der Bearbeitung der Aufgabenstellungen Schwierigkeiten haben könnten und welche hinführenden Informationen oder Zusatzfragen Hilfestellung leisten könnten. Die zusätzlichen Fragestellungen, die von der Lehrperson gestellt werden, können sich zum Beispiel nur auf einen Teilaspekt der Antwort beziehen, der vielleicht eher beantwortet werden kann als die gesamte Aufgabenstellung. Beispielsweise wird im dritten Teil der Aufgabenstellung bei der zweiten Fragestellung von den Schüler*innen erwartet, dass sie eine Schaltskizze für das Erreichen des Ruhezustandes und für den aktiven Ruhezustand zeichnen. Falls die Lehrperson bemerkt, dass die Schüler*innen nicht wissen, wie sie an die Aufgabenstellung herangehen sollen, kann die Lehrperson zunächst die Schaltsymbole der wesentlichen Bauteile erfragen und die Schüler*innen diese aufzeichnen lassen. Diese Frage, die sich nur auf einen Teil der Aufgabe bezieht, erleichtert den Schüler*innen den Weg zum Endergebnis.

Mögliche Hintergrundinformationen können zum Beispiel bei der Aufgabenstellung „Elektronik der Nervenzelle“ detaillierter auf die Prozesse im Zellinneren eingehen oder auf die Grenzen der Annahmen für die Aufgabenstellung verweisen. Zusatzinformationen können

sich aber auch auf vorausgesetztes Vorwissen, das die Schüler*innen möglicherweise nicht besitzen, beziehen, wie etwa bestimmte Formeln, Vorsilben oder Schaltsymbole.

Im Folgenden wird der Aufbau des Interviewleitfadens genauer erläutert, der für beide Aufgabenstellungen angewandt wird und auch in den einzelnen inhaltlichen Abschnitten der jeweiligen Aufgabenstellung immer gleich abläuft. Die beiden gesamten Interviewleitfäden, wie sie im Rahmen der Befragungen verwendet wurden, können im Anhang 5 (Interviewleitfaden zur Aufgabenstellung „Elektronik der Nervenzelle“) und 6 (Interviewleitfaden zur Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“) eingesehen werden.

Aufbau des Interviewleitfadens

1. Kennenlernen und Besprechung des Ablaufs der Befragung

Im ersten Abschnitt des Interviewleitfadens finden das Kennenlernen der Schüler*innen und die Besprechung des Ablaufs der Befragung statt. Dieser Abschnitt gliedert sich in die Begrüßung sowie die Vorstellung der Lehrperson und die Aufforderung an die Schüler*innen, auch etwas von sich zu erzählen. Im Anschluss werden die Schüler*innen noch einmal über den Zweck der Befragung informiert und ein Überblick über die Inhalte der Aufgabenstellung gegeben. Schließlich wird kurz erläutert, dass Erklärungen durch die Lehrperson erfolgen und dass die Schüler*innen nachfragen können, falls etwas unklar ist. Zuletzt wird noch einmal darauf aufmerksam gemacht, dass das Gespräch als Audiodatei aufgezeichnet wird und die Daten vertraulich behandelt werden und nur im Rahmen dieser Arbeit verwendet werden.

2. Ablauf der Befragung zu den Teilabschnitten der jeweiligen Aufgabenstellung

- Der Informationstext wird von der Lehrperson in eigenen Worten erläutert. Falls es keinen Informationstext gibt, werden die notwendigen Informationen für den jeweiligen Abschnitt von der Lehrperson erläutert. Falls es zusätzlich Abbildungen, Formeln, Schaltsymbole oder Ähnliches gibt, werden diese ebenfalls von der Lehrperson erläutert.
- Die Schüler*innen werden nach Unklarheiten zu der jeweiligen Erklärung befragt und ob sie Zweifel an der Erklärung besitzen. Falls notwendig, erklärt die Lehrperson Unverständliches noch einmal ausführlicher.

- Die Schüler*innen werden dazu aufgefordert, die physikalischen Konzepte und die zugehörigen biologischen Informationen der Erklärung noch einmal in eigenen Worten zu wiederholen. Im Interviewleitfaden ist vermerkt, welche Informationen die Schüler*innen im jeweiligen Abschnitt benennen sollten. Falls die Erklärung unvollständig ist, stellt die Lehrperson Nachfragen an und bietet detailliertere Erklärungen.
- Die Schüler*innen werden nun gebeten, die zum Informationstext gehörigen Aufgabenstellungen selbst durchzulesen und falls notwendig, Fragen zu stellen. Etwaige Fragestellungen werden von der Lehrperson beantwortet.
- Die Aufgabenstellungen werden von den Schüler*innen selbstständig bearbeitet. Zu den entsprechenden Aufgabenstellungen werden im Interviewleitfaden zusätzlich Fragestellungen und Hintergrundinformationen gelistet, die von der Lehrperson verwendet werden können, um den Schüler*innen auf die Sprünge zu helfen oder genauere Erklärungen zu bieten.

3. Abschließende Fragen zur Aufgabenstellung und Verabschiedung

Nachdem die Bearbeitung der jeweiligen Aufgabenstellung abgeschlossen ist, werden die Schüler*innen um Feedback gebeten. Dabei stellt die Lehrperson die folgenden Fragen:

- Wie hat dir die Aufgabenstellung gefallen?
- Was war für dich besonders interessant/weniger interessant?
- Was war für dich einfach/schwierig nachzuvollziehen?
- Welche Aufgabenstellungen waren für dich einfach/schwierig zu lösen?
- Was würdest du an der Aufgabenstellung ändern?
- Würdest du eine ähnliche Aufgabenstellung gerne wieder machen?

Nach der mündlichen Beantwortung dieser Fragen durch die Schüler*innen bedankt sich die Lehrperson für die Teilnahme an der Akzeptanzbefragung und die Bearbeitung der Aufgabenstellung. Die Schüler*innen werden verabschiedet.

4.4 Rahmenbedingungen zu den Erprobungen mittels Akzeptanzbefragung

Die beiden entwickelten Aufgabenstellungen wurden mithilfe der in Kapitel 4.3 entwickelten Interviewleitfäden mit den Schüler*innen in Form einer Akzeptanzbefragung bearbeitet. Sowohl zur Aufgabenstellung „Elektronik der Nervenzelle“ als auch zur Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“ wurden jeweils drei Schüler*innen befragt, die zum Zeitpunkt der Befragung entweder die 8. oder die 9. Schulstufe eines Wiener Gymnasiums besuchten. Fast alle dieser Schüler*innen nehmen an Physikolympiade-Kursen teil, sind an den Naturwissenschaften interessiert und/oder gute Schüler*innen. Teilweise wurde die Akzeptanzbefragung nicht im Einzelgespräch vorgenommen, sondern gleichzeitig zwei Schüler*innen im Lernprozess begleitet, wobei ein*e Schüler*in die erste und der*die andere die zweite Aufgabenstellung bearbeitete. Die Erziehungsberechtigten der Schüler*innen erklärten sich vorab schriftlich damit einverstanden, dass die Gespräche als Audioaufnahmen aufgezeichnet, im Anschluss transkribiert und die Daten im Rahmen dieser Masterarbeit verwendet werden dürfen. Die Schüler*innen wurden anonymisiert und unabhängig ihres Geschlechts im folgenden Kapitel 4.5 mit S1 bis S6 bezeichnet. In folgender Tabelle 8 wird übersichtlicher dargestellt, wann die Akzeptanzbefragungen zur jeweiligen Aufgabenstellung stattfanden:

Datum	Akzeptanzbefragung „Elektronik der Nervenzelle“	Akzeptanzbefragung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“
8.7.2020	S1	S2
6.8.2020	S3	-
12.8.2020	-	S4
1.10.2020	S5	S6

Tabelle 8: Übersicht Akzeptanzbefragungen

4.5 Detaillierte Auswertung der Erprobungen mittels Akzeptanzbefragung

Die beiden Aufgabenstellungen wurden jeweils in einzelne Teilabschnitte gegliedert und diese wiederum entsprechend der den Schüler*innen erklärten Informationstexte und zu bearbeitenden Arbeitsaufträge weiter unterteilt. Um übersichtlich darzustellen, ob die einzelnen Fragestellungen von den Schüler*innen leicht oder weniger leicht zu bearbeiten waren, wurde das Gesprächsmaterial für jeden Abschnitt gemäß der unten stehenden Tabelle bewertet und farblich markiert. Das Kategoriensystem zur Einteilung der Aufgabenstellungen in selbstständig lösbar (grün) / mit wenigen Zusatzinformationen lösbar (gelb) / nur unter starker Anleitung oder gar nicht lösbar (rot), das in Tabelle 9 dargestellt ist, wurde expertenvalidiert (mit einer zweiten Fachlehrkraft abgeglichen). Die detaillierte Interpretation des Gesprächsmaterials ist dem Anhang 7-10 zu entnehmen.

	für die Schüler*innen gut verständlich / selbstständig lösbar
	mit wenigen Zusatzinformationen lösbar
	nur unter starker Anleitung oder gar nicht lösbar

Tabelle 9: Schema zur Auswertung der Aufgabenstellungen

- Beispiel für eine Aufgabenstellung, die farblich grün markiert wurde:

Eine Aufgabenstellung wird als grün eingestuft, wenn die Antwort eigenständig und vollständig von dem*r Schüler*in gelöst werden kann. Als Beispiel wird hier die Bearbeitung der zweiten Aufgabe zum Ruhezustand der Nervenzelle durch S1 angeführt. Es wurden alle Wege zum Durchqueren der Membran genannt, die im Ruhezustand verwendet werden können und auch, welche Ionen die jeweiligen Wege benutzen können:

L [liest Antwort von S1 vor]: „Die Kalium-Ionen können einerseits durch den Kalium⁺ - Kanal Seiten wechseln oder durch die Natrium-Kalium-Pumpe, in welcher zwei Kalium- und drei Natrium-Ionen ausgetauscht werden. [Lehrperson liest leise zu Ende] Genau.“ (Transkript 1 - 00:11:36-2)

- Beispiele für Aufgabenstellungen, die farblich gelb markiert wurden:

Eine Aufgabenstellung wird als gelb eingestuft, wenn der*die Schüler*in von der Lehrperson wenige Zusatzinformationen benötigt, die Aufgabenstellung aber größtenteils eigenständig lösen kann. Als Beispiel wird die zweite Aufgabe zu den Stoffwechselintensitäten verschiedener Tiere angeführt. S6 kann die Stoffwechselintensität des Menschen eigenständig

berechnen, allerdings die Abweichung nicht in der richtigen Größenordnung angeben („Zehnerbereich“ (Transkript 4 - 00:36:57-2)). Da die Bearbeitung grundsätzlich eigenständig erfolgt, aber die Bedeutung der Begriffe „Einerbereich“, „Zehnerbereich“, „Hunderterbereich“, etc. S6 unbekannt sind bzw. nicht richtig verwendet werden und somit erklärt werden müssen, wird die Bearbeitung der Aufgabenstellung als gelb eingestuft.

Eine weitere Möglichkeit für eine gelbe Beurteilung wäre, wenn das Vorgehen zur Lösung der Aufgabe eigenständig vorgenommen werden kann, aber Fehler beim Rechnen passieren (Hilfestellung durch Rückmeldung über die Fehler bei der Bearbeitung der Aufgabenstellung) oder wenn andere Schwierigkeiten auftreten, die durch das fehlende Vorwissen der Schüler*innen bedingt sind (unbekannte Schaltsymbole, unbekannte mathematische Formeln, etc.). Bei der Bearbeitung der 7. Aufgabe zur Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“ sollen die Körperoberfläche und das Volumen von Maus und Elefant berechnet werden.

S4 kennt die Formel zur Berechnung der beiden Größen nicht, kann schließlich aber eigenständig die richtigen Ergebnisse errechnen. Daher wird die Bearbeitung als gelb eingestuft.

- Beispiel für eine Aufgabenstellung, die farblich rot markiert wurde:

Die Bearbeitung einer Aufgabenstellung wird dann als rot eingestuft, wenn die Aufgabenstellung von dem*r Schüler*in entweder gar nicht gelöst werden kann oder nur unter sehr starker Anleitung gelöst werden kann. S1 beispielsweise benötigte bei der Aufgabe 5 zum Ruhezustand der Nervenzelle sehr viele Hilfestellungen und gezieltes Nachfragen. Auf die Frage von der Lehrperson, ob im Zellinneren oder im Zelläußeren mehr positive Ladungsträger vorhanden sind, gibt S1 zunächst eine falsche Antwort: „Im Inneren mehr, weil immer zwei dazukommen, aber drei weggehen. Warte... Ist das logisch? Nein, außen. Ich steh grad am Schlauch.“ (Transkript 1 - 00:28:01-9) Daraufhin stellt die Lehrperson viele kleinschrittige Fragen zur Verteilung der Ladungsträger durch die Natrium-Kalium-Pumpe. Außerdem werden die elektrische und chemische Potentialdifferenz getrennt sehr detailliert im Gespräch behandelt. Da S1 nur unter starker Anleitung zur richtigen Lösung geführt werden kann, wird die Bearbeitung dieser Aufgabenstellung durch S1 rot bewertet.

4.5.1 Auswertung der Transkripte zur Aufgabenstellung „Elektronik der Nervenzelle“

Im Zuge dieses Kapitels wird jeder Teilabschnitt der Aufgabenstellung und die Bearbeitung durch die Schüler*innen unter Verwendung von Zitaten aus den Transkripten analysiert. Diese Aufgabestellung wurde von den Schüler*innen S1, S3 und S5 bearbeitet. Es werden hier nur die wichtigsten und wesentlichen Zitate genannt und die vollständige Gesprächsaufzeichnung kann im Anhang 7-10 nachgelesen werden.

Nervenzelle – Teil I: Ruhezustand der Nervenzelle (Infotext 1+ Abbildung 1)

Der Informationstext 1 wurde unter Verwendung der Abbildung 1 von der Lehrperson in eigenen Worten erklärt. Aufgabe der Schüler*innen war es, das Gesagte in eigenen Worten wiederzugeben. Diese Aufgabe wurde **von allen drei Schüler*innen** gut und eigenständig erfüllt und somit **als grün bewertet**.

S1 zeigte bereits während der Erläuterung der Lehrperson sein Verständnis über den Aufbau der Zelle und dass Abbildung 1 nur einen Ausschnitt derselben darstellt (S1: „Genau, das mein‘ ich ja. Das heißt, diese Schicht geht da in großem Rahmen ,rum.“ (Transkript 1 00:01:35-7). In der späteren Erklärung von S1 waren alle wichtigen Informationen enthalten: „Das ist innen und außen. Das ist - das Innere ist von der Lipid-Doppelschicht eingeschlossen. [...] Und da sind Ionen da drinnen. [...] Und die Kalium-Ionen können im Ruhezustand nur durch den Kalium-Kanal durch. Der Natrium Kanal ist zugeschlossen, also geschlossen im Ruhezustand und das Natrium kann nur wechseln, wenn es gleichzeitig drei Natrium und Kalium zwei rausgibt und rein und das wechselt.“ (Transkript 1 - 00:03:25-1)

S3 benannte die vorkommenden Ionen, ob sie wandern können und welche Mechanismen sie dazu nutzen können: „Im Ruhezustand [...] die Proteine und die Chlor-Ionen sind negativ geladen, beide, und sie können nicht durch die Schicht durch. Bei den Kalium-Ionen und Natrium-Ionen ist es so, dass sie durch die Kanäle durchkönnen und bei der Pumpe ist es so, dass immer drei Natrium-Ionen auf die eine Seite kommen können und gleichzeitig zwei Kalium-Ionen auf die andere Seite und das passiert die ganze Zeit. [...] Und im Ruhezustand ist der Natrium-Kanal zu.“ (Transkript 2 - 00:04:27-2)

S5 beschreibt den Ruhezustand der Nervenzelle ähnlich wie die anderen beiden Schüler*innen. Auffällig ist jedoch, dass der*die Schüler*in den Fachbegriff „Ruhezustand“ immer wieder als „Ruhestand“ bezeichnet. Die Lehrperson muss einmal kurz nachhaken, nachdem die Anzahl der wechselnden Ionen durch die Na-Ka-Pumpe verwechselt wird.

S5: „Ähm, ja. Also, da (verweist auf Abbildung 1) ist das Zelläußere und da ist das Zellinnere. Die wurden durch eine Lipid-Doppelschicht getrennt. Das sind sozusagen Fette. Danach gibt es ein K⁺-Kanal, der offen ist, auch im **Ruhestand** und einen Natrium⁺-Kanal, der in einem **Ruhestand** geschlossen ist. Und danach gibt's noch den Natrium- und Kaliumpumpe, wobei, da werden sie nicht regelmäßig, sondern immer nur 3 zu 2 umgedreht sozusagen. Also, da können drei Kalium raus und zwei Natrium rein.“

L: „Umgekehrt. Drei Natrium raus und zwei Kalium rein.“

S5: „Ja. Und da drinnen sind noch Proteine. Und ja.“ (Transkript 4 - 00:02:42-0)

Nervenzelle – Teil I: Ruhezustand der Nervenzelle (Aufgabe 1)

Die erste Aufgabenstellung verlangt von den Schüler*innen das Benennen der unterschiedlichen Ladungsträger im Zellinneren sowie im Zelläußeren und deren Ladung. Alle drei Schüler*innen sahen nur die positiven Ladungsträger als Ionen und als für diese Aufgabenstellung relevant an. Daher wurde die Bearbeitung der Aufgabenstellung **für alle drei Schüler*innen als gelb eingestuft**. Die sehr ähnlichen Schülerantworten werden nun kurz zitiert.

S1: „Das heißt, ich hab‘ jetzt da, also muss ich da jetzt nur hinschreiben, Natrium-Ion ist positiv und Kalium-Ion ist auch positiv.“

L: „Mhm, genau. Und was gibt es noch?“ S1 bezeichnet Natrium und Kalium als Ionen und ordnet ihnen richtig eine positive Ladung zu, erkennt aber die negativ geladenen Chlorteilchen und Proteine nicht als Ionen an: „Das wollte ich fragen. Ist das Chlor auch ein Ion?“ (Transkript 1 - 00:07:02-4)

S3 benennt ebenfalls nur die beiden positiven Ladungsträger: „Ok, es gibt Kalium-Ionen und Natrium-Ionen.“ (Transkript 2 - 0:05:30-8)

S5 antwortet auf die Frage, welche Ladung die Ionen besitzen: „Positiv, die sind alle positiv.“ (Transkript 4 - 00:10:23-7)

Nach der Hilfestellung durch die Lehrperson erfolgt folgende Zusatzantwort: „Chlor, die sind negativ und die Proteine sind auch negativ.“ (Transkript 4 - 00:10:34-9)

Nervenzelle – Teil I: Ruhezustand der Nervenzelle (Aufgabe 2)

Aufgabenstellung 2 zum Infotext 1 erwartet von den Schüler*innen eine Benennung der Ionen, die wandern können sowie der Art und Weise, auf die sie wandern können. Alle drei Schüler*innen konnten diese Aufgabe ohne Hilfestellungen erfüllen (grüne Bewertung).

Die korrekten Antworten der Schüler*innen lauten folgendermaßen:

L [liest Antwort von S1 vor]: „Die Kalium-Ionen können einerseits durch den Kalium + - Kanal Seiten wechseln oder durch die Natrium-Kalium-Pumpe, in welcher zwei Kalium- und drei Natrium-Ionen ausgetauscht werden.“ (Transkript 1 - 00:11:36-2)

S3: „Also, ähm, K⁺-Ionen können durch den K⁺-Kanal wandern, Na⁺ können durch den Na⁺-Kanal wandern, zusätzlich können immer Na⁺-Ionen in das Zelläußere gelangen und zwei K⁺-Ionen in das Zellinnere und das wechselt immer (durch die Pumpe).“ (Transkript 2 00:09:07-7)

L [liest Antwort von S5 vor]: „Kalium-Ionen können durch einen Kalium+-Kanal und durch die Natrium Kalium Pumpe (zwei Kalium-Ionen). Natrium-Ionen können in dem Ruhezustand nur durch die Pumpe, weil der Natrium-Kanal beim Ruhezustand geschlossen ist.“ (Transkript 4 - 00:10:19-4)

Nervenzelle – Teil I: Ruhezustand der Nervenzelle (Info 2)

Hier wird von der Lehrperson der Informationstext 2 zur elektrischen und chemischen Potentialdifferenz erklärt und die Schüler*innen nach der Verständlichkeit der jeweiligen Erklärung gefragt bzw. erwartet, dass die Schüler*innen das Wichtigste noch einmal in eigenen Worten wiedergeben. Diese Aufgabe wird als von den drei Schüler*innen gut erfüllt (grün) bewertet.

S1 gab eine kurze Erklärung über den Unterschied zwischen der elektrischen und der chemischen Potentialdifferenz ab: „Das heißt, als Endprodukt ist erwünscht, dass erstens einmal bei der elektrischen Potentialdifferenz alles, also plus und minus, ausgeglichen sind, also positiv

und negativ und bei der chemischen, dass auch die Ionen, die einzelnen Ionenarten, das heißt einfach, dass nicht auf einer Seite das Gleiche ist.“ (Transkript 1 - 00:14:05-0)

S3 antwortete auf Nachfragen von der Lehrperson, ob der Informationstext verständlich gewesen wäre: „Also das war ziemlich gut erklärt.“ (Transkript 2 - 00:12:28-3)

S5 brachte sich schon während der Erklärung durch die Lehrperson in das Gespräch ein und ergänzte die Aussagen:

L: „Das heißt, das nennt man dann eine Spannung, wenn die Ladungsträger nicht gleichmäßig verteilt sind. Die Ladungen streben dann an, diese Spannung dann wieder auszugleichen. Das ist wie bei der Batterie, wenn die dann angeschlossen wird, dann-“

S5: „-fließt Strom.“

L: „Genau. Und hier ist es auch so. Wenn sie eine Möglichkeit haben, zum Beispiel durch den Kanal oder die Pumpe, dann versuchen sie, sich auszugleichen. Dann fließen sie in die bestimmte Richtung, eben, um diese zu verringern. Das ist die elektrische Potentialdifferenz. Und es gibt auch noch eine chemische Potentialdifferenz zwischen innen und außen und das heißt, unabhängig von der Ladung, also positiv und negativ, wollen sich die Teilchen auch noch so verteilen, dass es von jeder Sorte gleich viele überall gibt.“

S5: „Also, dass es gleich konzentriert ist.“ (Transkript 4 - 00:13:10-5)

Nervenzelle – Teil I: Ruhezustand der Nervenzelle (Aufgabe 3)

Aufgabe 3 verlangt von den Schüler*innen die grafische Darstellung der minimalen elektrischen Potentialdifferenz.

Entsprechend des Gesprächsmaterials hatte S1 keine Schwierigkeiten mit der Bedeutung der minimalen elektrischen Potentialdifferenz, aber mit der verlangten grafischen Darstellung. Die Erfüllung der Aufgabenstellung wurde daher **als gelb beurteilt**.

S1: „Ich muss- es geht darum, dass ich- ich versteh‘ nicht ganz, wie ich das grafisch darstellen kann. Es geht darum, ich soll quasi zeigen, wenn da eine Zellwand ist, dass da, wenn da jetzt zwei plus ist und da zwei minus, dass es sich dann so austauscht, dass dann am Ende plus minus und plus-minus-“

L: „Genau, also du stellst gleich den Endzustand dar, also die minimale elektrische Potentialdifferenz.“

S1: „Das wär‘ das hier.“

L: „Zum Beispiel, genau.“

S1: „Und wie soll ich das grafisch darstellen?“

L: „Am besten machst du einfach einen Strich für die Membran, also für die Lipid-Doppelschicht und zum Beispiel oben "außen" und unten "innen" und ein paar wählst du aus, also zwei oder drei und statt dass du sie halt nur plus und minus nennst-“

S1: „-beschreibe ich's noch.“ (Transkript 1 - 00:17:02-3)

S1 nahm schließlich folgende grafische Darstellung vor (vgl. Abbildung 12):

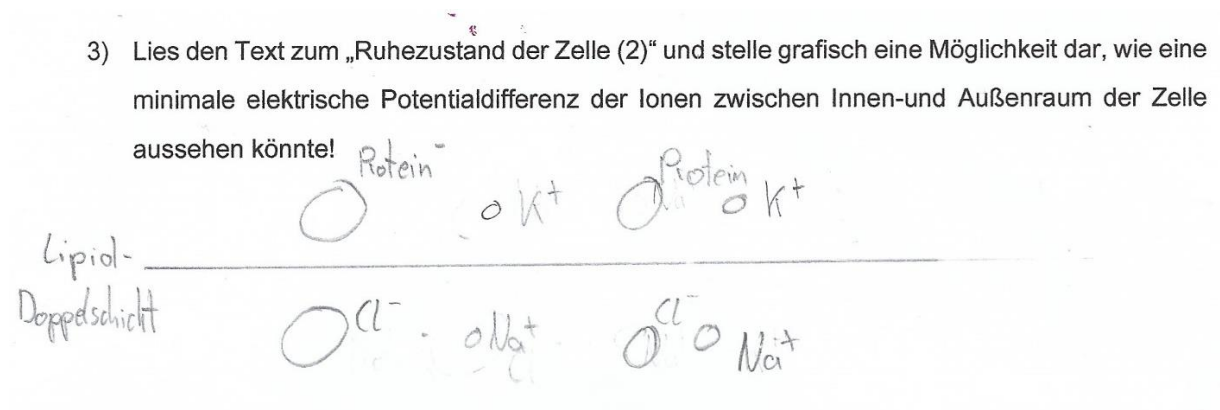


Abbildung 12: Grafische Darstellung der minimalen elektrischen Potentialdifferenz durch S1

Dabei ist auffällig, dass die Ladungsträger innerhalb der äußeren bzw. inneren Zellschicht richtig hinsichtlich des Vorzeichens verteilt wurden, dass aber nicht berücksichtigt wurde, dass das elektrische Feld der Ladungsträger auch über die Zellmembran hinweg wirkt.

S3 konnte die grafische Darstellung der Potentialdifferenz selbstständig vornehmen (**grüne Bewertung**), berücksichtigte aber zunächst ähnlich wie S1 nicht, dass die elektrischen Felder der Ladungsträger auch über die Zellmembran hinweg wirken.

- 3) Lies den Text zum „Ruhezustand der Zelle (2)“ und stelle grafisch eine Möglichkeit dar, wie eine minimale elektrische Potentialdifferenz der Ionen zwischen Innen- und Außenraum der Zelle aussehen könnte!

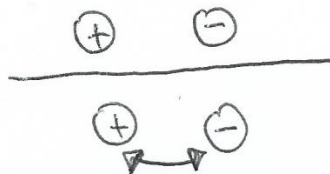


Abbildung 13: Grafische Darstellung der minimalen elektrischen Potentialdifferenz durch S3

S5 konnte die Aufgabenstellung ebenfalls selbstständig bearbeiten (grüne Bewertung): „Also ich hab‘ sie immer mit jeweils 4 auf einer Seite ausgeglichen. Also auf jeder Seite gibt's vier Natrium, Chlor, Kalium und Proteine.“ (Transkript 4 - 00:18:27-3)

3) Lies den Text zum „Ruhezustand der Zelle (2)“ und stelle grafisch eine Möglichkeit dar, wie eine minimale elektrische Potentialdifferenz der Ionen zwischen Innen- und Außenraum der Zelle aussehen könnte!

Hand-drawn diagram showing a horizontal line representing a cell membrane. Above the line (outside) are four small circles (Na⁺), four circles with a dot (Cl⁻), four circles with a cross (K⁺), and four circles with a spiral (Protein⁻). Below the line (inside) are also four small circles (Na⁺), four circles with a dot (Cl⁻), four circles with a cross (K⁺), and four circles with a spiral (Protein⁻). The distribution is heterogeneous, with some ions concentrated on one side or the other.

4) Stelle grafisch eine Möglichkeit dar, wie eine minimale chemische Potentialdifferenz der Ionen zwischen Innen- und Außenraum der Zelle aussehen könnte!

Legend:

- = Na⁺
- ⊙ = Chlor⁻
- ⊗ = K⁺
- ⊘ = Protein⁻

Abbildung 14: Grafische Darstellung der minimalen elektrischen Potentialdifferenz durch S5

Wie aus Abbildung 14 hervorgeht, achtete S5 bei der grafischen Darstellung zumindest teilweise auch auf die heterogene Verteilung der Ladungsträger über die Zellgrenzen hinweg.

Nervenzelle – Teil I: Ruhezustand der Nervenzelle (Aufgabe 4)

Aufgabenstellung 4 entspricht Aufgabenstellung 3, nur dass hier die grafische Darstellung der minimalen chemischen Potentialdifferenz gefragt ist. Abhängig von der dargestellten Variante in Aufgabe 3 ergab sich für manche Schüler*innen eine Doppellösung. Diese Aufgabenstellung konnte von allen drei Schüler*innen gut bearbeitet werden (grüne Bewertung).

Für S1 war die gezeichnete minimale elektrische Potentialdifferenz auch gleichzeitig die minimale chemische Potentialdifferenz (S1: „Das ist aber jetzt auch gleichzeitig das hier.“ (Transkript 1 - 00:19:01-8)

Die grafische Darstellung (vgl. Abbildung 15) wurde entsprechend gleich vorgenommen wie bei Aufgabe 3:

- 4) Stelle grafisch eine Möglichkeit dar, wie eine minimale chemische Potentialdifferenz der Ionen zwischen Innen-und Außenraum der Zelle aussehen könnte!

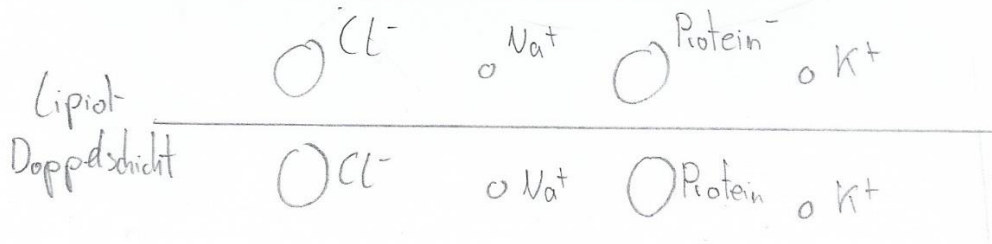


Abbildung 15: Grafische Darstellung der minimalen chemischen Potentialdifferenz durch S1

S3 erkannte, dass die minimale chemische Potentialdifferenz nur eine theoretische Möglichkeit ist, da die Ionen nicht wandern können. Auch wenn S3 die Aufgabenstellung möglicherweise anders gelöst hätte, waren alle Überlegungen richtig:

S3: „Die sind jetzt alle positiv geladen.“

L: „Naja, die anderen spielen schon auch eine Rolle, die negativen.“

S3: „Also, soll ich die auch? Aber es ist ja, man hat ja Chlor, aber die kommen ja nicht durch.“

L: Genau, das ist jetzt nur eine theoretische Möglichkeit. Praktisch gesehen können sich die nicht ausgleichen.“

S3: „Deswegen würd's jetzt keinen Sinn machen.“ (Transkript 2 - 00:15:42-4)

Bei der grafischen Darstellung (vgl. Abbildung 16) wurden, wie aus dem vorangehenden Gespräch hervorgeht, nur die positiven Ladungsträger berücksichtigt:

- 4) Stelle grafisch eine Möglichkeit dar, wie eine minimale chemische Potentialdifferenz der Ionen zwischen Innen-und Außenraum der Zelle aussehen könnte!

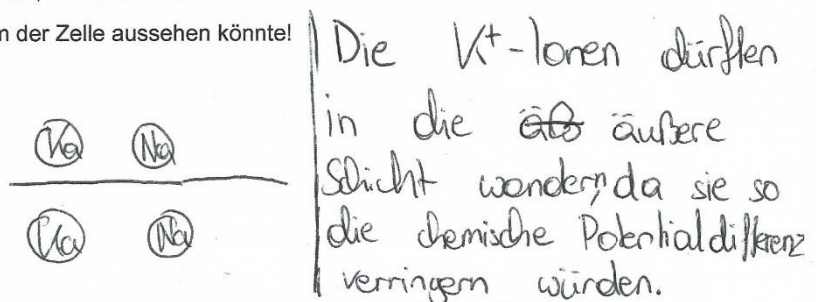


Abbildung 16: Grafische Darstellung der minimalen chemischen Potentialdifferenz durch S3

Für S5 ergab sich ebenfalls eine Doppellösung aus Aufgabe 3:

S5: „Das habe ich mir auch gedacht, nämlich, dass ich da jetzt dasselbe machen würde. [...] Also in dem Fall würde es chemisch und elektrisch ausgeglichen sein.“ (Transkript 4 - 00:19:02-3)

Die grafische Darstellung wurde hier nicht erneut vorgenommen, da sie der aus Aufgabe 3 entspricht.

Nervenzelle – Teil I: Ruhezustand der Nervenzelle (Aufgabe 5)

Bei Aufgabe 5 des ersten Abschnitts der Aufgabenstellung sollen die Schüler*innen argumentieren, ob und aufgrund welcher Potentialdifferenz die Kalium-Ionen den Kalium-Kanal nutzen. Alle Schüler*innen benötigten bei dieser Aufgabenstellung eine mehr oder weniger detaillierte Anleitung von der Lehrperson, um die Aufgabenstellung richtig lösen zu können.

S1 benötigte kleinschrittige Fragen und Hilfestellungen zur Lösung der Aufgabe (**rot eingestuft**):

S1 gibt zunächst eine falsche Antwort auf die von der Lehrperson gestellte Frage:

L: „Was man sich jetzt einmal fragen kann, ist, ähm, wegen der elektrischen Potentialdifferenz, damit die jetzt von innen, weil es sind jetzt viele innen durch die Pumpe, wieder zurückwandern würden, würden die quasi aufgrund der elektrischen Potentialdifferenz zurückwandern? Also man könnte auch sagen, gibt's im Inneren mehr positive Ladungsträger als im Äußeren?“

S1: „Im Inneren mehr, weil immer zwei dazukommen, aber drei weggehen. Warte... Ist das logisch? Nein, außen. Ich steh grad am Schlauch.“ (Transkript 1 - 00:28:01-9)

Im Anschluss stellt S1 eine Frage an die Lehrperson, die zeigt, dass er*sie nicht weiß, wie argumentiert werden könnte:

L: „Das heißt, da gibt's eigentlich weniger positive Ladungsträger im Endeffekt, wenn man jetzt nur die Pumpe einmal hernimmt.“

S1: „Aber wenn dann außen mehr sind, wieso wandern dann von innen Kalium-Ionen nach außen?“

L: „Ja, das ist jetzt die Frage. Jetzt nähern wir uns eh schon dem. Also, ahm, man könnte jetzt sagen, vom Ladungsunterschied her... Würden sie wandern oder würden sie nicht wandern?“

S1: „Nicht.“ (Transkript 1 - 00:28:38-5)

Erst nach längerem Gespräch findet S1 selbst Argumente für das Wandern der K⁺-Ionen

aufgrund der chemischen Potentialdifferenz:

S1: „Und warum die auch wechseln würden, ist, damit der Gehalt der Kalium-Ionen weniger wird und auf der anderen Seite mehr und umgekehrt.“

L: „Genau. Also, quasi welche Potentialdifferenz?“

S1: „Chemisch. Es gibt chemisch, was dafür spricht, aber elektrisch spricht dagegen.“
(Transkript 1 - 00:29:55-5)

S3 bringt eigenständig richtige Ideen ein, benötigt aber strukturierte Argumentationshilfestellungen durch die Lehrperson (**gelbe Beurteilung**):

S3: „Also, wenn [überlegt] das positiver geladen ist als das, dann muss eines von denen rüber wandern, damit das ausgeglichen ist.“

L: „Genau, wie du richtig gesagt hast, wenn das Innere positiver geladen wäre, dann würden die Kalium-Ionen nach außen wandern, weil, damit sich das mehr ausgleicht. Zum Beispiel, das wäre ein Argument dafür, dass sie wandern. Jetzt ist die Frage noch, ob das Innere positiver geladen ist als das äußere oder nicht?“

S3: [überlegt]

L: „Wovon könnte das abhängen?“

S3: „Es hängt ja von den Proteinen ab und bei der Seite von den Chlor-Kationen.“

L: „Die sind halt jetzt quasi fix. Was jetzt das Verhältnis zwischen Innerem und Äußeren verändern kann, ist, wie sich die positiven bewegen, ob hier mehr positive sind oder hier mehr positive sind. Und das hängt jetzt mit dieser Pumpe zusammen. Weil die Pumpe, die erzeugt quasi so etwas wie ein Ungleichgewicht, weil da ja immer drei von innen nach außen, von der Ladung her gesehen, aber immer nur zwei positive von außen nach innen wandern.“

S3: „Ja.“

L: „Und das ständig. Das heißt, man könnte sagen, ständig kommen drei positive von innen raus und zwei positive zurück rein. Das heißt jetzt, was schätzt du, wo werden mehr positive sein, wenn das jetzt immer so abläuft? Immer drei raus, zwei rein, drei raus, zwei rein, die ganze Zeit?“

S3: „Hier, oder [deutet auf das Zelläußere]?“

L: „Genau. Im Ruhezustand sind dann irgendwann mal hier viel mehr positive und hier weniger positive.“

S3: „Und deshalb müssen sie zum Ausgleich rüber wandern.“

L: „Nur, es ist so, dass da im Inneren sowieso schon mehr Kalium-Ionen von Haus aus sind. Ursprünglich ist es so, dass im Inneren Kalium-Ionen und Proteine sind und im Äußeren

Natrium und Chlor. Und nur durch das Wandern verändert sich das. Theoretisch müssten die von außen nach innen. Dazu kommen die dann eh gleich... Aber fass das mal in Worte, nur in Bezug auf das elektrische.“

S3: Ok. Wegen der Pumpe, nach einer Zeit ist es hier mehr positiv, aber hier im Zellinneren ist die Mehrheit ja schon Kalium +, also und deshalb ist es halt [...] es ist nicht schlecht, aber, wenn noch mehr K^+ -Ionen reinkommen, ist es halt [...]

L: „Also, quasi, das spricht quasi dagegen, dass die Kalium-Ionen auch noch nach außen wandern. Also, quasi von der elektrischen Potentialdifferenz her könnte man sagen, gibt's keinen Grund, warum sie wandern würden.“

Auch in Bezug auf die chemische Potentialdifferenz ist ein kleinschrittiges Anleiten notwendig:

S3: „Wenn die K^+ -Ionen jetzt wandern würden, dann würde es die chemische Potentialdifferenz auch vergrößern, oder nicht?“

L: „Schau ma mal. Die Frage ist jetzt mal, wo sind mehr K^+ -Ionen?“

S3: „Hier.“

L: „Ja.“

S3: „Ok nein, wenn sie nach außen wandern, dann passt es ja.“ (Transkript 2 - 00:26:21-4)

S5 muss zuerst zwar darauf gebracht werden, dass es in dieser Fragestellung nur um die Kalium-Ionen geht und dass aufgrund der elektrischen und chemischen Potentialdifferenz argumentiert werden soll, kann aber dann die Aufgabenstellung lösen (gelb beurteilt):

L: „Genau, Natrium kann jetzt eigentlich nichts machen, es geht jetzt nur um Kalium. Es gibt jetzt eben die Möglichkeit, dass man sich fragt: Wollen die Kalium-Ionen von innen nach außen zurückwandern? Was spricht dafür und was spricht dagegen?“

S5: „Also sind gerade hier mehr Kalium. Und hier weniger.“

L: „Genau. [...] Denk mal nach über die Potentialdifferenz. Ob die elektrische Potentialdifferenz dadurch verringert wird und ob die chemische Potentialdifferenz dadurch verringert wird.“ (Transkript 4 - 00:23:26-1)

L [liest vor]: „Man kann die K^+ Ionen vom Zellinneren ins Zelläußere bringen. Damit wird die chemische Potentialdifferenz verringert, aber die elektrische vergrößert. [...] Kannst du mir das erklären, wie du auf das kommst, dass die chemische verringert, aber die elektrische vergrößert wird?“

S5: „Also, wenn hier dauerhaft Kalium-Ionen reinkommen und hier dauerhaft mehrere nach außen geschickt werden durch diesen Kanal. Das Problem würde sein, dass hier mehr Teilchen sein würden, deswegen würden sich der elektrische vergrößern, aber chemisch würde es sich

für die K⁺-Ionen eigentlich ausgleichen.“ (Transkript 4 - 00:27:49-1)

Nervenzelle – Teil I: Ruhezustand der Nervenzelle (Aufgabe 6)

Bei der 6. Aufgabenstellung sollen die Schüler*innen die Potentialdifferenz im Ruhezustand zwischen Innen- und Außenraum der Zelle interpretieren.

S1 erkannte sofort, dass die Fragestellung auf die Bedeutung des „Minus“ vor der Spannung abzielt, konnte jedoch die Bedeutung des Minus nicht argumentieren (rot bewertet):

L: „Das heißt, eine bestimmte Potentialdifferenz bleibt immer und das sind eben in dem Fall -70 mV und dann ist die Frage, was kann man zur Ladungsverteilung sagen?“

S1: „Das Minus.“

L: „Genau, also das Minus gibt an, wo ist es negativ? Innen oder außen?“

S1: „Außen. [...] Dann innen.“ (Transkript 1 - 00:35:01-7)

S1: „Aber wie kommt dann die negative Spannung?“ (Transkript 1 - 00:36:13-0)

S3 kennt die Bedeutung einer negativen Spannung nicht und benötigt daher sehr viel Hilfe bei der Argumentation zur Bedeutung des Minuszeichens vor der Spannung (rot bewertet):

L: „Die Frage bezieht sich eigentlich auf das Minus. Was sagt das aus, dass das -70 mV sind?“

S3: „Gibt's das überhaupt?“

L: „+ und - ist quasi je nach dem, gibt jetzt an, ob mehr positive oder mehr negative Ladungsträger auf einer Seite sind. Also, wo wären mehr negative Ladungsträger und wo wären mehr positive?“

S3: „Ich glaub, hier wären mehr negative, weil, die sind ja auch größer und wegen der Pumpe.“

L: „Weil da ja immer mehr positive reinkommen und da weniger, deswegen ist das da negativer.“

S3: „Ja.“

L: „Das heißt, wenn da jetzt steht, das sind -70 mV, dann wissen wir, das Innere ist um 70 mV negativer als das Äußere.“ (Transkript 2 - 00:31:21-2)

S5 beschreibt zunächst, dass eine Spannung herrscht und aufgrund von Nachfragen findet S5 auch heraus, wo sich der Pluspol und wo sich der Minuspol befindet. Begrifflich werden Plus- und Minuspol bzw. Nord- und Südpol synonym verwendet, aufgrund der richtigen Verwendung der Begriffe Plus- und Minuspol nach Nachfragen, wird die Bearbeitung der Aufgabenstellung

grün bewertet:

L: „Genau und die -70 mV, wie sind die verteilt? Was sagen uns die -70 mV?“

S5: „Eigentlich gibt es außen, gibt es hier mehr gleichen. Also ist hier sozusagen der **Nordpol**?“

L: „Nordpol gibt's beim Magneten. Es gibt einen Pluspol und einen Minuspol.“

S5: „Ja, einen Pluspol und das ist hier und da ist der negative und deswegen fließen sie auch immer hierhin, weil sie sich ausgleichen wollen, aber das geht nicht ganz.“ (Transkript 4 - 00:30:27-6)

Nervenzelle – Teil II: Zelle empfängt Reiz (Aufgabe 1)

Die erste Aufgabe im zweiten Teil der Aufgabenstellung ist ähnlich der fünften Aufgabenstellung im ersten Teil. Die Schüler*innen sollen erneut argumentieren, ob die Natrium-Ionen den Natrium-Kanal nutzen, wenn dieser geöffnet wird.

S1 argumentiert zunächst falsch, mit wenigen Hilfestellungen aber richtig (gelb beurteilt):

S1: „Es ist umgekehrt. Also elektrisch ist, dass die Natrium-Ionen nach innen wandern, da die elektrische Potentialdifferenz ausgeglichen werden sollte und deshalb innen weniger vorhanden sind als außen. Aber chemisch ist, dass sie halbwegs angeglichen sind durch die Pumpe.“ (Transkript 1 - 00:46:23-2)

S1: „Mhm. Und deshalb wollen die raus, also wieder rein, damit die elektrische Potentialdifferenz möglichst gering ist.“

L: „Genau. Und was ist mit der chemischen?“

S1: „Dann sind die aber wieder vermischt. Das heißt, die chemische ist dann bis zu einem gewissen Grad vermischt, als sie sich vorher angeglichen hat.“

L: „Ja, überlegen wir mal... Wo sind jetzt mehr Natrium-Ionen? Innen oder außen?“

S1: „Außen.“

L: „Außen, genau. Und wann ist die chemische Potentialdifferenz minimal?“

S1: „Wenn gleich viel Natrium und Kalium außen und innen vorhanden sind.“

L: „Genau, das wär' zum Beispiel minimal, also wenn da gleich viele Natrium und Kalium wären und da gleich viele.“

S1: „Das heißt, Natrium möchte trotzdem auch durch die chemische Potentialdifferenz auch nach innen. Spricht jetzt da etwas dagegen, nicht oder?“ (Transkript 1 - 00:47:56-4)

S3 kann die Aufgabenstellung eigenständig lösen (**grün beurteilt**): „Also ein Antrieb wäre zum Beispiel, um die chemische Potentialdifferenz auszugleichen-zu verringern. Aber halt [überlegt] Das ist negativer geladen und dann würden sie auch rüberwandern, um die elektrische Potentialdifferenz auszugleichen.“ (Transkript 2 - 00:35:49-1)

S5 kann die Aufgabe mit wenig Anleitung lösen (**gelb beurteilt**):

L: „Spricht die elektrische Potentialdifferenz dafür, dass sie wandern? Hast du über das auch nachgedacht?“

S5: „Nein. Eigentlich nicht, denn da sind schon Chlor- Ionen und Natrium+. Das ist dann halt Natrium-Chlorid. Vielleicht würden sie wegen den Proteinen rüberkommen, weil die negativ geladen sind.“

L: „Sagst du mir noch einmal, wo mehr positive Ladungsträger sind?“

S5: „Ach so, ja, außen, deswegen würden sie reingehen wollen, weil da im Vergleich zu dem mehrere negative sind. Deswegen würden sie reinfließen, um die elektrische Differenz zu verringern.“

L: „Mhm und wie ist es mit der chemischen?“

S5: „Sie würden reinfließen, denn da sind viel weniger Natrium+-Ionen und da sind mehr Kalium-Ionen. Sie würden in beiden Fällen reingehen wollen.“ (Transkript 4 - 00:43:01-6)

Nervenzelle – Teil II: Zelle empfängt Reiz (Aufgabe 2)

In dieser Aufgabenstellung wird erfragt, wie sich der Wert der Potentialdifferenz verändert, wenn die Nervenzelle gereizt wird.

S1 ist sich unsicher, ob sich die Potentialdifferenz verringert oder vergrößert, mit Hinweis auf die elektrische und chemische Potentialdifferenz argumentiert S1, dass sie sich verringert (**gelb beurteilt**): „Wenn es jetzt... es ist wahrscheinlich falsch, aber... Wenn sich jetzt der Natrium-Kanal öffnet, sie wollen das ausgleichen insgesamt, aber wenn sich das ausgleicht, dann würde sich das ja nicht weiter... irgendwann einmal nicht... kann es sein, dass er größer wird, obwohl die positiven Ladungsträger das ausgleichen, damit, wenn es sich wieder im Ruhezustand befindet, dass wenn sich der Kalium-Kanal öffnet, es wieder in den Zustand oder halbwegs in den Zustand in den Zustand zurück wird, dass es dann wieder positiv wird?“ (Transkript 1 - 00:53:13-1)

[...] S1: „Sie wird kleiner. Weil immer mehr positiv geladene Teilchen sind, können sich die

positiven Ladungen ausgleichen, das heißt, außen und innen gleich viel ca. Und chemisch auch, da eben die Natrium-Teilchen aufgeteilt sind innen und außen.“ (Transkript 1 - 00:54:01-3)

S3 argumentiert richtig, dass sich die Spannung verringern würde (grün bewertet):

S3: „Der Zahlenwert würde sich verringern. [...] Ja, weil es wird mehr ausgeglichen.“ (Transkript 2 - 00:38:26-3)

S5 antwortet sofort, dass die Spannung geringer wird (grün bewertet): „Ok. Also die Spannung wird dann weniger als vorhin, wenn sie gereizt sind.“ (Transkript 4 - 00:34:40-8)

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Infotext 3 + Abbildung 2)

Zum Einstieg in den dritten Teil der Aufgabenstellung wird der Kondensator erklärt und diese Erklärung soll von den Schüler*innen wiedergegeben werden. Die Wiedergabe der Informationen wird für alle drei Schüler*innen als grün bewertet.

S1 bringt sich bereits während der Erklärung ein und stellt Nachfragen an, die auf ein Verständnis verweisen: „Soll das das darstellen? Dass das dann das Dielektrikum ist? [...] Also es speichert die Energie.“ (Transkript 1 - 00:59:08-2)

S3 gibt nach eigenen Angaben an, dass die Erklärung verständlich gewesen wäre: „Nein, es war verständlich.“ (Transkript 2 - 00:41:51-5)

S5 stellt während der Erklärungen zum Kondensator eigenständig die Verbindung zur Membran her.

L: „Ok, ich erklär's dir noch einmal kurz. Ein Kondensator besteht aus zwei Platten, zwei Leiter, die getrennt sind durch eine isolierende Schicht, ein Vakuum zum Beispiel. Die Ladungen können hier über diese isolierende Schicht nicht drüber. Das ist quasi getrennt.“

S5: „Also wie der Membran sozusagen, wenn der geschlossen sein würde.“ (Transkript 4 - 00:45:10-7)

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Aufgabe 1)

Aufgabe 1 des dritten Teils der Aufgabenstellung erwartet von den Schüler*innen, dass sie verschiedene physikalische Bauteile den Bestandteilen der Nervenzelle zuordnen. Diese Aufgabe wurde für alle drei Schüler*innen grün bewertet.

S1 kann alle Bestandteile richtig zuordnen, deutet aber Unsicherheiten bei der Zuordnung an (**fett markiert**). Da aber bis auf ein Bauteil neben der richtigen Zuordnung die Wahl der anderen auch begründet wird, wird die Bearbeitung dennoch als grün gewertet: „**Es ist so blöd**. Die Spannungsquelle... sind zwei. Und durch die Kalium-Kanäle und durch die Natrium-Kalium-Pumpe kann die ausgeglichen werden und kann sich da was ändern. Das heißt, ich würd' die Spannungsquelle mit den beiden hier verbinden. Der Kondensator ist [...] schließt man an die Gleichspannungsquelle an den Kondensator an, so erhält er weitere Energie, solange er mit der Spannungsquelle verbunden ist [...] Dann wird die Zellmembran mit dem Kondensator verbunden... **warum auch immer**.“ (Transkript 1 -01:03:27-8)

Bei S3 ist es ähnlich wie bei S1. Auch hier können die Bestandteile richtig zugeordnet werden, aber S3 gibt selbst zu, dass die Zuordnung der beiden Spannungsquellen nur nach dem Ausschlussprinzip zugeordnet wurde: „Also, Zellmembran-Widerstand. [...] Ok. [...] Also der Kondensator speichert die Energie sozusagen. [...] Dann würde ich's auch zur Zellmembran zuordnen. [...] **Ok, eigentlich wär' das jetzt einfach nur so, aber ich möchte das auch verstehen**. [...] Die Spannungsquelle verteilt die Ladungen und die Natrium-Kalium-Pumpe tut es so wechseln, damit sich die Ladungen verändern.“ (Transkript 2 - 00:44:31-3)

Das entspricht auch der Situation von S5: „Bei der Zellmembran kann ich mir vorstellen, dass es der Kondensator ist, weil's nicht durchlässt und weil es deswegen auch einen Widerstand hat. Und danach, dass die Kalium-Kanäle die Spannungsquelle sind und die Pumpe auch. [...] **Da ist mir dann sozusagen die Pumpe übrig geblieben** und dann mussten eben zwei verbunden werden und dann war es klar, dass es das sein wird. (Transkript 4 - 00:52:28-3)

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Aufgabe 2)

Bei dieser Aufgabenstellung sollen die Schüler*innen das Erreichen des Ruhezustands und den aktiven Zustand der Nervenzelle in einer Schaltskizze darstellen.

S1 kennt das Schaltsymbol der Spannungsquelle und kann nach dem Zeigen der anderen Schaltsymbole einen einfachen Stromkreis zeichnen. Der aktive Zustand wird richtig dargestellt, beim Erreichen des Ruhezustands fehlt allerdings der Kondensator. Die Bearbeitung dieser Aufgabenstellung wird also als **gelb bewertet**.

S3 kennt ebenfalls die Schaltsymbole für Widerstand und Spannungsquelle, weiß aber nicht, wie damit das Erreichen des Ruhezustands bzw. der aktive Zustand dargestellt werden können. Nach dem Hinweis, dass es sich um einen einfachen Stromkreis handle, äußert S3 folgenden Vorschlag: „Also, man macht den Kondensator- und daran angeschlossen eine Spannungsquelle und Widerstand.“ (Transkript 2 - 00:47:47-9) S3 kann auch sofort benennen, wie dann der aktive Zustand aussehen muss: „Aktiver Zustand wär‘, wenn der Kondensator an die Glühbirne geschlossen wird, das wäre ein aktiver Zustand.“ (Transkript 2 - 00:48:48-6) Im Gesamten wird die Bearbeitung der Aufgabenstellung durch S3 als **gelb bewertet**.

S5 benötigt eine genaue Anleitung zur Zeichnung der Schaltskizze. Auf ein Nachfragen der Lehrperson, ob die Schaltsymbole bekannt wären, wird geantwortet: „Nicht sehr. Also, ich hab‘ schon damit gearbeitet, aber es ist schon ziemlich lang her.“ (Transkript 4 - 00:53:08-8)

Die Lehrperson gibt außerdem den Hinweis, dass ein möglichst einfacher Schaltkreis aufgebaut werden soll. Auch hier zeigt sich S5 unsicher: „Eine geschlossene einfach. [...] Ich bin mir nur jetzt unsicher, ob zuerst das oder das kommt.“ (Transkript 4 - 00:53:57-7)

Da die Bearbeitung der Aufgabenstellung durch S5 nur mit sehr vielen Hilfestellungen und genauer Anleitung möglich war, wird die Bearbeitung der Aufgabenstellung **rot bewertet**.

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Aufgabe 3)

Nun soll das Experiment gemäß der zuvor angefertigten Schaltskizzen durchgeführt werden und zunächst der Ruhezustand aufgebaut und anschließend beobachtet werden, was passiert.

S1 meint nach Beobachtung des Ruhezustands: „Ist halt, dass sich der Kondensator wie eine Art Akku die Energie speichert.“ (Transkript 1 - 01:11:05-8) Auf die Frage, warum das Lämpchen denn nur kurz leuchtet, wird geantwortet: „Dadurch, dass der Kondensator speichert, ist das Lämpchen nicht als Verbraucher tätig. (Transkript 1 - 01:11:26-5) Die Bearbeitung der Aufgabenstellung durch S1 wird grün bewertet.

S3 beobachtet: „Es hat kurz geleuchtet.“ (Transkript 2 - 00:51:39-8) Als Erklärung vermutet S3 zunächst: „Es hat die Ladung ausgeglichen.“ (Transkript 2 - 00:52:12-4) Erst nach weiterer Erklärung formuliert S3, dass das Lämpchen nur leuchtet, während sich der Kondensator noch lädt: „Die Elektronen gehen kurz durch die Lampe und dann zum Kondensator und dabei leuchtet die Lampe.“ (Transkript 2 - 00:54:42-19) Im Gesamten wird die Bearbeitung der Aufgabenstellung durch S3 gelb bewertet.

S5 beobachtet im Ruhezustand das Leuchten des Lämpchens und sieht, dass es nur kurz leuchtet. S5 meint: „Würde es funktionieren, wenn ich es ausstecke und nochmal einstecke?“ (Transkript 4 - 01:02:02-7) Durch diese Frage ist erkennbar, dass S5 nicht erkannt hat, dass der Kondensator bereits geladen ist und es somit durch erneutes Anstecken nicht noch einmal leuchten würde. Schließlich antwortet S5 auf die Frage, warum es beim Erreichen des Ruhezustands kurz leuchtet: „**Weil sie sich ausgeglichen haben währenddessen oder weil's beim Kondensator aufgeladen wurde.** Ja, weil es beim Kondensator aufgeladen wurde.“ (Transkript 4 - 01:08:49-7) Es zeigt sich, dass S5 sich bei der Begründung unsicher ist, aber sich schließlich für die richtige Begründung entscheidet. Die Bearbeitung dieser Aufgabenstellung wird gelb bewertet.

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Aufgabe 4)

Ähnlich der vorangehenden Aufgabe wird nun der aktiven Zustand der Nervenzelle experimentell dargestellt und beschrieben.

S1 erkennt sofort, was am Versuchsaufbau verändert werden muss, um den aktiven Zustand darzustellen: „Für den aktiven Zustand muss ich das hier weggeben, oder? Weil da ist der Kondensator drinnen.“ (Transkript 1 - 01:09:49-9) Auch die zugehörige Erklärung kann von S1 selbst vorgenommen werden: „Im aktiven Zustand wird der Kondensator zur Spannungsquelle und das Lämpchen dient dann als Verbraucher und somit gleicht sich die Spannung aus.“ (Transkript 1 - 01:13:36-8) Somit wird diese Aufgabenstellung **grün bewertet**.

Auch S3 beschreibt den aktiven Zustand richtig: „Den Kondensator gibt die Ladung ab und dabei leuchtet die Lampe.“ (Transkript 2 - 00:56:15-3) Daher wird die Bearbeitung von Aufgabe 4 für S3 ebenfalls **grün bewertet**.

S5 gibt zunächst als Beobachtung an, dass das Lämpchen im aktiven Zustand nicht leuchte (Transkript 4 - 01:07:15-6), obwohl dies zuvor beobachtet wurde. Die Erklärung für das kurze Aufleuchten des Kondensators ist richtig, wenn auch sprachlich ungenau formuliert.

S5: „In dem Fall gleichen **sie** sich jetzt dann aus und da ist dann die Differenz minimiert.“ (Transkript 4 - 01:09:28-3) Daher wird die Bearbeitung dieser Aufgabenstellung durch S5 **grün bewertet**.

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Aufgabe 5)

Bei dieser Aufgabenstellung sollen die Schüler*innen argumentieren, wie sich die Veränderung des Werts der Kapazität bzw. des Widerstands auf die dargestellte Situation auswirken würde.

S1 beschreibt die Auswirkungen der Verwendung eines größeren Widerstands folgendermaßen: „Also, er kann mehr Spannung speichern und dadurch könnte das Lämpchen [...] länger [...] verbrauchen. Es würde länger brennen.“ (Transkript 1 - 01:15:26-9) Die Auswirkung eines größeren Widerstands auf die Schaltung wird so beschrieben: „Es würde nur ganz kurz leuchten.“ (Transkript 1 - 01:15:42-5) Die Bearbeitung dieser Aufgabenstellung durch S1 wird **grün bewertet**.

S3 meint zu einer größeren Kapazität: „Das Entladen würde länger dauern und deshalb würde die Lampe länger leuchten“ (Transkript 2 - 00:57:37-7) und zu einem größeren Widerstand:

„Dann [...] halt, also wenn das ein größerer Widerstand wäre, würde das Entladen kürzer dauern, es würde weniger leuchten.“ (Transkript 2 - 00:58:49-0) Diese Argumentation wird grün bewertet.

S5 beschreibt die Bedeutung der Kapazität für die Beobachtungen richtig, ist sich allerdings unsicher, wie sich die Veränderung des Widerstands auswirken könnte: „Bei der größeren Kapazität würde es wahrscheinlich länger leuchten, weil es auch länger dauert, bis sie sich ausgleichen und beim Widerstand [...] kann ich's mir irgendwie grad nicht vorstellen, was passieren würde.“ (Transkript 4 - 01:10:32-8) Daher wird die Bearbeitung der Aufgabenstellung gelb bewertet.

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Infotext 4)

Zuletzt wird der Infotext 4 den Schüler*innen erläutert und wiederum das Verständnis der Schüler*innen für den Informationstext überprüft.

Die drei Schüler*innen haben den Infotext 4 nicht in Worten wiedergegeben, sondern es wurden lediglich Details zur folgenden Aufgabenstellung 6 besprochen (zeitliche Gründe). Da die folgende Aufgabe 6 direkt auf dem vierten Informationstext basiert und von allen Schüler*innen (relativ) eigenständig bearbeitet werden konnte, wird das Verständnis für den Informationstext als grün bewertet.

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Aufgabe 6)

Aufgabe 6 erwartet von den Schüler*innen die Berechnung der Kapazität einer Nervenzelle im Rückenmark entsprechend der Angaben aus der Infobox 4 und der gegebenen Informationen der Aufgabenstellung.

S1 konnte Aufgabe 6 nach Abklärung der verschiedenen physikalischen Größen und nach Wiederholung der Oberflächenformel für den Zylinder eigenständig berechnen. Da aber beim Eintippen in den Taschenrechner ein paar Fehler passiert sind, wird die Bearbeitung der Aufgabenstellung gelb bewertet.

S3 kann die Formel für die Oberfläche des Zylinders selbstständig herausfinden und die Werte richtig einsetzen (grüne Bewertung).

S5 erklärt ebenfalls die Berechnung der Oberfläche richtig: „Wenn man den Radius weiß, kann man auch den Umfang berechnen und dann Umfang mal der Länge ist die Fläche.“ (Transkript 4 - 01:19:03-3) Die Kapazität wird ebenfalls richtig berechnet (grüne Bewertung).

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Aufgabe 7)

Aufgabe 7 des dritten Teils der Aufgabenstellung erwartet von den Schüler*innen, dass die elektrische Feldstärke der Zellmembran berechnet wird und diese hinsichtlich ihrer Größenordnung eingeschätzt wird.

S1 berechnet die elektrische Feldstärke ohne Probleme und ordnet sie auch richtig ein (grüne Bewertung).

S3 rechnet ebenfalls richtig und ordnet die elektrische Feldstärke als „sehr groß“ (Transkript 2 - 01:09:00-8) ein (grüne Bewertung).

Mit S5 konnte diese Aufgabenstellung aus zeitlichen Gründen nicht mehr bearbeitet werden.

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Aufgabe 8)

Bei Aufgabe 8 sollen Schlüsse aus der bisherigen Aufgabenstellung gezogen werden und begründet werden, warum die Membranspannung für den Organismus von so großer Bedeutung ist und wieso es einen schnellen Tod bedeutet, wenn diese abgebaut wird.

S1 nimmt zur Wirkung des Gifts eines Pfeilgiftfroschs folgendermaßen Stellung:

„Es kann sein, dass es die Membran zerstört, es kann sein, dass die beiden Kanäle geöffnet werden. Aber wenn sie sich ganz abbaut, muss sie sich ganz zerstören, weil sonst die Proteine und Chlor nicht wechseln können, das heißt, es zerstört offenbar die ganze [...]“ (Transkript 1 - 01:30:43-9) Auf Nachfragen, warum die Membranspannung denn überhaupt von Bedeutung wäre, wird geantwortet: „Die Zelle würde nicht reagieren.“ (Transkript 1 - 01:32:11-8) Die Bearbeitung der Aufgabenstellung wird grün bewertet.

S3 argumentiert falsch (**fett markiert**): „Ok, jetzt muss ich nachdenken [...] **Die Potentialdifferenz ist ja 0, ganz schnell und das ist ja der Ruhezustand** und da ist man nicht

aktiv und Herz und Atemmuskulatur brauchen dann länger, um wieder zu arbeiten, weil sie im Ruhezustand sind [...] Ich weiß nicht.“ (Transkript 2 - 01:11:06-4) Mit weiteren Informationen kommt S3 schließlich auf folgendes Argument: „Man kann den Reiz einfach nicht wahrnehmen, weil die Potentialdifferenz 0 ist, wenn das Gift in den Körper kommt und deswegen kann man nicht so reagieren.“ (Transkript 2 - 01:12:25-9) Da zunächst falsch argumentiert wurde, wird die Bearbeitung dieser Aufgabenstellung als rot bewertet.

Mit S5 konnte diese Aufgabenstellung aus zeitlichen Gründen nicht mehr bearbeitet werden.

4.5.2 Auswertung der Transkripte zur Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“

Im Zuge dieses Kapitels wird jeder Teilabschnitt der Aufgabenstellung und die Bearbeitung durch die Schüler*innen unter Verwendung von Zitaten aus den Transkripten analysiert. Diese Aufgabestellung wurde von den Schüler*innen S2, S4 und S6 bearbeitet. Es werden hier nur die wichtigsten und wesentlichen Zitate genannt und die vollständige Gesprächsaufzeichnung kann im Anhang 7-10 nachgelesen werden.

Maus/Elefant – Teil I: Stoffwechselintensitäten einiger Tiere (Infotext 1)

Die erste Aufgabe der Schüler*innen war es, den Infotext 1 zur Stoffwechselintensität nach der Erklärung durch die Lehrperson in eigenen Worten zusammenzufassen.

S2 hatte Schwierigkeiten beim Verständnis des Begriffs „proportional“ und nahm an, dass man, wenn man 0,17 (Stoffwechselintensität) hoch $\frac{3}{4}$ nimmt, dann die Masse erhält. (Transkript 1 - 00:05:40-6) Abgesehen davon, dass die Größen verwechselt wurden (eigentlich muss die Masse hoch $\frac{3}{4}$ genommen werden), handelt es sich um keine Gleichung, sondern die beiden Größen stehen lediglich im gleichen Verhältnis. Daher wird die erste Aufgabenstellung hier als **gelb bewertet**.

S4 erklärt den ersten Informationstext richtig und ausführlich in eigenen Worten (**grüne Bewertung**): „Tiere müssen so viel Energie in Form von Nahrung oder trinken eben aufnehmen, wie sie auch wieder verbrauchen, damit sie insgesamt dann eigentlich die- ihre Körpertemperatur halten können und sich- und die sie nicht mehr Energie in sich gespeichert haben oder zu viel abgeben. [...] Und die Stoffwechselintensität gibt an, halt, wie viel Energie in einer Zeit sie dafür brauchen und die ist proportional zur Masse hoch $\frac{3}{4}$, was bedeutet, dass man, wenn man die Masse hoch $\frac{3}{4}$ verdoppelt, auch die Stoffwechselintensität verdoppelt.“ (Transkript 3 - 00:03:18-2)

S6 erklärt den Infotext 1 folgendermaßen: „Man muss wissen, warum eine Ratte mehr fressen muss im Gegensatz zum Elefanten. Und das hängt davon ab, dass sie mehr Stoffwechselintensität aufweist.“ (Transkript 4 - 00:03:34-4) Allerdings ist S6 ebenfalls nicht bekannt, was „proportional“ bedeutet, weswegen das Verständnis des Informationstextes **gelb**

beurteilt wird.

Maus/Elefant – Teil I: Stoffwechselintensitäten einiger Tiere (Aufgabe 1)

Bei der ersten Aufgabenstellung zum Infotext 1 wird von den Schüler*innen verlangt, dass die Stoffwechselintensität des Elefanten mithilfe des vorgegebenen Proportionalitätsverhältnisses berechnet wird.

S2 hat die Berechnung richtig vorgenommen und ist folgendermaßen vorgegangen: „Also, ähm, ich hab‘ zuerst 4000 hoch $\frac{3}{4}$ dividiert durch äh, 0,021 hoch $\frac{3}{4}$ gerechnet. [...] Dann hab‘ ich sozusagen das, was man hier mal nehmen muss, genommen und hab das mal 0,17 gerechnet. (Transkript 1 - 00:11:18-9) Die Bearbeitung der ersten Aufgabenstellung wird grün bewertet.

S4 nimmt fälschlicherweise ebenfalls das Proportionalitätsverhältnis als Gleichung an („Das heißt, ich rechne 4000 Kilo und 21 Gramm sind 0,021 Kilo.“ (Transkript 3 - 00:05:12-7) Bei der Berechnung gab es zunächst einen Umwandlungsfehler und schließlich einen Rechenfehler, der auf einen Tippfehler am Taschenrechner beruhte. Schließlich konnte der Weg zur Berechnung allerdings gut erklärt werden: „Also, die Masse des Elefanten hoch $\frac{3}{4}$ dividiert die Masse der Maus hoch $\frac{3}{4}$ ist das Verhältnis von der Masse. [...] Da Masse und die Stoffwechselintensität proportional zueinander sind, kann ich dann mit dem Verhältnis der Masse auch die Stoffwechselintensität hochrechnen und so kommt man dann auf das Ergebnis.“ (Transkript 3 - 00:13:59-4) Im Gesamten wird die Bearbeitung der Aufgabenstellung gelb bewertet.

S6 erläutert zunächst einen falschen Lösungsansatz zur Bearbeitung der Aufgabe 1: „Also, wenn ich jetzt schaue, wie viel schwerer der Elefant ist im Gegensatz zur Maus. Dann rechne ich das mal $\frac{3}{4}$ und dann hab ich's.“ (Transkript 4 - 00:06:13-1) Außerdem muss S6 darauf hingewiesen werden, dass alle Einheiten zunächst in SI-Einheiten umgewandelt werden. Nur mit sehr detaillierter Anleitung durch die Lehrperson kann die Stoffwechselintensität des Elefanten berechnet werden (rote Bewertung).

Maus/Elefant – Teil I: Stoffwechselintensitäten einiger Tiere (Aufgabe 2)

Bei der Bearbeitung der zweiten Aufgabenstellung soll auf ähnliche Weise vorgegangen werden, indem mithilfe des Proportionalitätsverhältnisses die Stoffwechselintensität des Menschen berechnet werden soll. Im Anschluss soll die Abweichung des errechneten Werts vom Wert in einer beigefügten Tabelle entsprechend ihrer Größenordnung eingeschätzt werden.

S2 ist sich zunächst unsicher, was bei dieser Aufgabenstellung erwartet wird und die Lehrperson erläutert detaillierter, wie die Stoffwechselintensität des Menschen beispielsweise berechnet werden kann. Mit diesem Hinweis kann S2 selbstständig die Lösung richtig berechnen. S2 erkennt den Wert der Abweichung, weiß aber nicht, was mit der Größenordnung gemeint ist:

L: „Genau, also 5. Und so im Größenordnungsbereich? Also, kennst du so Zehnerpotenzen oder so etwas?“

S2 [zögert]: „Äh, ich weiß nicht genau, was Sie meinen.“ (Transkript 1 - 00:21:57-1)

Die Bearbeitung der Aufgabenstellung wird als **gelb eingestuft**.

S4 erkennt sofort, wie die Berechnung der Aufgabenstellung vorgenommen werden muss: „Das heißt, wir nehmen dann einen [...] Wir nehmen dann die Maus und machen das gleiche wie mit dem Elefanten mit dem Menschen und schauen, wie das dann mit der Tabelle zusammenpasst.“ (Transkript 3 - 00:15:01-6) Die anschließende Berechnung wird richtig vorgenommen und die Größenordnung kann auf Nachfrage richtig im Einerbereich eingeordnet werden (**grüne Bewertung**).

S6 kann die Stoffwechselintensität des Menschen eigenständig berechnen, allerdings die Abweichung nicht in der richtigen Größenordnung angeben („Zehnerbereich“ (Transkript 4 - 00:36:57-2)). Die Bearbeitung der Aufgabenstellung wird daher **gelb bewertet**.

Maus/Elefant – Teil II: Grundumsätze einiger Tiere (Infotext 2)

Hier soll wieder der durch die Lehrperson erläuterte Informationstext zum Grundumsatz in eigenen Worten wiedergegeben werden. Diese Aufgabe wurde von den Schüler*innen sehr gut erfüllt und somit **grün bewertet**.

S2 erklärt den Text folgendermaßen: „Also der Grundumsatz ist die Menge von Energie, die man braucht, wenn sich der Körper in völliger Ruhe befindet. Also nicht in völliger Ruhe, weil man ja auch atmet, ähm, aber zum Beispiel beim Schlafen.“ (Transkript 1 - 00:23:37-7)

S4 gibt den zweiten Informationstext folgendermaßen richtig wieder: „Der Grundumsatz ist die Energie, die ein Körper im Ruhezustand ohne irgendwelchen Aktivitäten außer den unbewussten braucht und der liegt beim Menschen bei ca. 7 Millionen Joule.“ (Transkript 3 - 00:19:14-3)

S6 wurde der Text zum Grundumsatz lediglich erklärt und daraus auf ein Verständnis geschlossen (zeitliche Gründe, da für die ersten Teil der Aufgabenstellung viel Zeit gebraucht wurde).

Maus/Elefant – Teil II: Grundumsätze einiger Tiere (Aufgabe 3)

Bei Aufgabe 3 soll der Grundumsatz der Maus bzw. des Elefanten berechnet werden. Alle drei Schüler*innen benötigten etwas Anleitung bei der Bearbeitung der Aufgabenstellung, daher wird die Bearbeitung **von allen drei Schüler*innen gelb bewertet**.

S2 berechnet den Grundumsatz der Maus eigenständig richtig, hat allerdings einen Denkfehler bei der Berechnung des Grundumsatzes des Elefanten. Nach einer Erklärung durch die Lehrperson (L: „Also das bezieht sich jetzt beides auf die Maus quasi, der von der Maus ist 65-mal höher als der vom Menschen und 200-mal höher als der vom Elefanten.“ (Transkript 1 - 00:31:41-7)) kann schließlich auch der Grundumsatz des Elefanten richtig berechnet werden.

S4 passierten bei dieser Rechenaufgabe ähnliche Fehler wie bereits zuvor. Es wurden die Einheiten Kilogramm und Gramm bei der Berechnung gemischt eingesetzt und es kam auch wieder ein Tippfehler bei der Berechnung vor.

S6 berechnete die notwendige Energiemenge pro Gramm Masse der Maus richtig, benötigte allerdings Hilfe beim Verständnis dabei, was es für den Elefanten bedeutet und auch die Vorsilbe „mega“ musste gesondert erklärt werden.

Maus/Elefant – Teil II: Grundumsätze einiger Tiere (Aufgabe 4)

Bei Aufgabe 4 sollen die Schüler*innen berechnen, wie viele Kilogramm Gras der Elefant fressen muss, um seinen Grundumsatz zu decken. Diese Aufgabenstellung wurde von allen drei Schüler*innen gut erfüllt und wird **jeweils grün bewertet**.

Diese Berechnung kann von S2 selbstständig vorgenommen werden, allerdings muss die Bedeutung der Vorsilbe „mega“ noch einmal wiederholt werden, da das Ergebnis von S2 um eine Kommastelle von der tatsächlichen Lösung abwich.

S4 interpretiert die Angabe richtig und schätzt bereits das Ergebnis im Kopf sehr genau ab: „Das heißt, wir haben 6 Millionen Joule in einem Kilo Gras, wir brauchen 130 Millionen Joule, sind 130 durch 6 sind dann 20 dann sind wir auf 120, sind wahrscheinlich dann 22.“ (Transkript 3 - 00:28:52-3)

Auch S6 berechnete eigenständig die notwendige Masse an Gras, die ein Elefant täglich fressen muss.

Maus/Elefant – Teil II: Grundumsätze einiger Tiere (Aufgabe 5)

Nun soll berechnet werden, wie viel Kilogramm Nahrung der Elefant zu sich nehmen müsste, wenn er nicht seinen Grundumsatz, sondern den der Maus hätte. Die Bearbeitung dieser Aufgabenstellung wurde von allen drei Schüler*innen eigenständig erfüllt, weswegen auch **alle drei Schüler*innen eine grüne Bewertung** erhalten.

Diese Berechnung kann von S2 ebenfalls selbstständig vorgenommen werden.

S4 geht bei der eigenständigen Berechnung folgendermaßen vor: „Grundumsatz Maus sind 650, 6500, wenn ich das jetzt mal 4 Millionen nehme... ja, das mach‘ ich. 2,6-mal 10 hoch 10. Das heißt, wir haben 26 und 9 Nullen dran. Das sind dann aber Joule, das heißt wir haben 26.000 MJ. Und wenn ein Kilo Gras 6 Megajoule hergibt, muss ich 26.000 durch 6 rechnen [...] 4333,3 periodisch.“ (Transkript 3 - 00:30:57-4)

S6 berechnete ebenfalls eigenständig die Masse an Gras, die ein Elefant fressen muss, wenn er den Grundumsatz einer Maus besitzen würde.

Maus/Elefant – Teil II: Grundumsätze einiger Tiere (Aufgabe 6)

Diese Aufgabe erwartet von den Schüler*innen, aus den vorangehenden Aufgaben Schlüsse zu ziehen hinsichtlich dessen, inwiefern sich die Stoffwechselintensität bzw. der Grundumsatz von großen und kleinen Tieren unterscheidet. **Alle drei Schüler*innen** ziehen aus den bisherigen Berechnungen die richtigen Schlüsse und erhalten somit eine **grüne Bewertung**.

S2 erklärt richtig, dass kleine Tiere im Verhältnis zur ihrer Masse mehr fressen müssen: „Also bei kleinen Tieren ist der Grundumsatz im Vergleich zu ihrem Körpergewicht ziemlich hoch und bei großen Tieren ist es genau umgekehrt, also der Grundumsatz ist ziemlich niedrig, im Vergleich zu ihrem Körpergewicht.“

L: „Mhm, genau. Das heißt, was heißt das praktisch für die Tiere?“

S2: „Wenn sie größer sind, müssen sie weniger essen.“ (Transkript 1 - 00:48:50-3)

S4 erläutert den Zusammenhang zwischen Masse und Grundumsatz bzw. Stoffwechselintensität folgendermaßen: „Ja, der Elefant braucht dann eigentlich- also der Elefant müsste mit dem Grundumsatz von der Maus viel zu viel fressen. [...] Das heißt, er braucht eigentlich nicht so viel Energie, wenn man die von der Maus hochrechnen würde. (Transkript 3 - 00:31:52-3)

S6 zieht aus den bisherigen Ergebnissen folgenden Schluss:

S6: „Kleine Tiere müssen mehr fressen.“

L: „Im Verhältnis zu was?“

S6: „Im Verhältnis zu ihrem Körpergewicht.“ (Transkript 4 - 00:59:02-1)

Maus/Elefant – Teil III: Verhältnis zwischen Körperoberfläche und Volumen einiger Tiere (Aufgabe 7)

Im dritten Teil der Aufgabenstellung berechnen die Schüler*innen zunächst die Körperoberfläche und das Volumen von Maus bzw. Elefant. Alle drei Schüler*innen benötigen etwas Unterstützung bei der Berechnung, deswegen wird die Bearbeitung der Aufgabenstellung **jeweils gelb bewertet**.

S2 nimmt einen runden Körper nicht als Kugel an:

L: „Also wir nehmen's jetzt als rund an. Also was wär' das dann für ein Körper?“

S2: „Kegel, also nein ein Zylinder.“ (Transkript 1 - 00:49:46-3)

Außerdem müssen die Formeln zur Berechnung der Oberfläche bzw. des Volumens der Kugel vorgegeben werden. Die Berechnung im Anschluss kann allerdings eigenständig richtig vorgenommen werden.

S4 muss ebenfalls die Formel für die Körperoberfläche bzw. das -volumen genannt werden. Außerdem wird zunächst mit dem Durchmesser anstelle des Radius gerechnet, schließlich aber eigenständig das richtige Ergebnis erreicht.

S6 interpretiert einen runden Körper sofort richtig als Kugel, benötigt allerdings Hilfe bezüglich der Oberflächen- und Volumenformel der Kugel. Der Durchmesser wird richtig als der doppelte Radius angesehen und die Berechnungen für die Maus richtig vorgenommen, beim Elefanten kam ein Tippfehler vor.

Maus/Elefant – Teil III: Verhältnis zwischen Körperoberfläche und Volumen einiger Tiere (Aufgabe 8)

Die Schüler*innen sollen bei dieser Aufgabenstellung begründen, um welche Größenordnung sich Oberfläche und Volumen beim Elefanten im Vergleich zur Maus verändern.

S2 argumentiert folgendermaßen: „Und, wenn die Maus jetzt eine 100-mal so große Oberfläche hat, also wenn der Durchmesser 100-mal so groß ist, dann ist, weil hier ein Quadrat ist, ist das 100 mal 100, also 10.000-mal so groß.“ (Transkript 1 - 01:00:30-2) Diese richtige Erklärung wird grün bewertet.

S4 benötigt Hilfe beim Herausfinden der Veränderung bei Körperoberfläche und Volumen des Elefanten, kann die Aufgabe anschließend aber lösen (gelb bewertet):

S4: „Die Oberfläche dann das [...] wenn ich jetzt den Radius 100-mal so groß hab, dann ist die Oberfläche auch 100-mal so groß.“

L: „Das wär theoretisch so, wenn da nicht das Quadrat stehen würd.“

S4: „Ja. Dann ist sie 100 zum Quadrat groß.“

L: „Ja, um das 10.000-fache.“

S4: „Und dann 100 hoch 3 ist dann 1 Million. Das heißt die Oberfläche wär' um das 10.000-

fache größer und das Volumen das Millionenfache größer.“ (Transkript 3 - 00:41:52-5)

Mit etwas Hilfestellung kann S6 die Aufgabenstellung lösen (**gelbe Bewertung**):

L: „Da müsstest du jetzt wissen, wie viele Quadratzentimeter ein Quadratmeter sind...“

S6: „10.000.“

L: „Und beim Volumen hast du das hoch 3, das heißt, da musst du nochmal mehr Nullen dazugeben. [...]“

S6: „1 Million?“ (Transkript 4 - 01:14:35-4)

Maus/Elefant – Teil III: Verhältnis zwischen Körperoberfläche und Volumen einiger Tiere (Aufgabe 9)

Bei dieser Aufgabenstellung sollen Schlüsse gezogen werden, wie der höhere Skelettanteil bei großen Tieren mit dem geringeren Grundumsatz großer Tiere zusammenhängt.

S2 benötigt Hilfe bei der Argumentation für den Beitrag des Skeletts zum Grundumsatz. Zunächst wird über den geringeren Muskelanteil bei einem geringeren Skelettanteil argumentiert, was energetisch aber gegen den höheren Grundumsatz der Maus spricht, weil weniger Muskelmasse ja für einen geringeren Grundumsatz sprechen würde. Schließlich kommt S2 zu folgender Begründung: „Jetzt hab ich's, glaub' ich. Das Skelett braucht gar keine Energie, weil die Maus weniger Skelett hat sozusagen, dafür braucht der Rest des Körpers, also der Rest des Körpers mehr Energie.“ (Transkript 1 - 01:05:25-5) Die Bearbeitung dieser Aufgabenstellung wird **gelb bewertet**.

S4 argumentiert richtig bei der Beantwortung von Aufgabe 9 (**grüne Bewertung**):

S4: „Abgesehen von den Knochen hat die Maus viel mehr, was sie beheizen muss-prozentuell. Weil sonst, von den Kilogramm nicht, nur prozentuell, muss die Maus 95 % ihrer Masse beheizen und der Elefant nur 70.“ (Transkript 3 - 00:43:54-0)

S6 wird bei der Bearbeitung dieser Aufgabenstellung etwas auf die Sprünge geholfen (**gelbe Bewertung**):

L: „Denken wir mal so nach... Denkst du, verbraucht das Skelett im Körper viel oder wenig Energie?“

S6: „Wenig.“

L: „Warum denkst du wenig?“

S6: „Weil es ein Skelett ist, das macht nichts. Und weil der Elefant mehr Skelett hat, braucht er weniger.“ (Transkript 4 - 01:18:29-3)

4.5.3 Auswertung der Abschlussfragen zu den beiden Aufgabenstellungen

Nach der Bearbeitung der jeweiligen Aufgabenstellung durch die Schüler*innen im Zuge der Akzeptanzbefragung wurden die Schüler*innen zu ihrer Meinung zur Aufgabenstellung befragt. Dabei wurde informell erhoben, wie die Schüler*innen die Aufgabenstellung von interessant bis uninteressant, von einfach bis schwierig nachzuvollziehen bzw. zu lösen einstufen, ob sie eine ähnliche Aufgabenstellung gerne wieder machen würden und was sie an der Aufgabenstellung verändern würden.

Im Folgenden werden die wichtigsten Schüler*innenaussagen zur Aufgabenstellung „Elektronik der Nervenzelle“ zusammengefasst:

Interesse an der Aufgabenstellung

S1 beschäftigt sich nach eigenen Angaben gerne mit Logik-Aufgaben, bei denen das Denken im Vordergrund steht (Transkript 1 - 01:35:43-3) und empfand die Aufgabenstellung daher nach eigener Aussage als interessant (Transkript - 01:36:29-4). S3 fand die Aufgabenstellung spannend, da sie sich mit etwas beschäftige, das „in uns drinnen passiert“ (Transkript 2 - 01:14:26-3). Mit Anwendungsbezug empfindet S3 das Kennenlernen des elektronischen Bauteils des Kondensators besser als lediglich die Erarbeitung von technischen Inhalten (Transkript 2 - 01:16:14-8). S5 meint, dass er*sie sich eher für die biologischen Inhalte als für die technischen Inhalte in der Physik interessiere (Transkript 4 - 01:26:27-6) und findet die Aufgabenstellung dementsprechend interessant (Transkript 4 - 01:26:37-9).

Schwierigkeit der Aufgabenstellung

S1 gibt hinsichtlich der Schwierigkeit der Aufgabenstellung an, dass es machbar wäre, aber man schon überlegen müsse (Transkript 1 - 01:34:28-6). Die Informationstexte der Aufgabenstellung wurden laut S1 als hilfreich wahrgenommen, da sie sich mit den Informationen decken würden, die von der Lehrperson gegeben wurden (Transkript 1 - 01:33:57-5). Außerdem wurde die Abbildung der Nervenzelle am Beginn der Aufgabenstellung von S1 als gute Unterstützung wahrgenommen (Transkript 1 - 01:36:29-4). S3 gibt an, dass die Aufgabenstellung „ziemlich gut verständlich“ gewesen wäre und dass die Erklärung durch die Lehrperson gut gewesen wäre (Transkript 2 - 01:14:57-1). S5 meint, dass die Aufgabenstellung nicht extrem leicht wäre, aber so gestaltet, dass man immer weitermachen könne (Transkript 4 - 01:26:16-9).

Sprache der Aufgabenstellung

Sprachlich gesehen wurde von S1 angemerkt, dass der Satzbau verständlich gewesen wäre (Transkript 1 - 01:37:16-7), dass die einzelnen Begriffe bekannt gewesen wären, aber im Zusammenhang der Aufgabenstellung teilweise neu verwendet wurden bzw. neue zusammengesetzte Wörter vorkamen, wie etwa zum Beispiel „Ruhezustand“ (Transkript 1 - 01:37:46-2). Die Verwendung von Fachbegriffen war laut S3 „normal“, da andere Lehrpersonen viel mehr Fachbegriffe verwenden würden (Transkript 2 - 01:15:26-6). S5 empfand die gesamte Aufgabenstellung als sprachlich verständlich (Transkript 4 - 01:26:58-4).

Sonstige Anmerkungen zur Aufgabenstellung

In Bezug auf mögliche Verbesserungen der Aufgabenstellung würde S3 Aufgabe 6 des ersten Teils der Aufgabenstellung und Aufgabe 2 des zweiten Teils der Aufgabenstellung überarbeiten.

Im Folgenden werden die wichtigsten Schüler*innenaussagen zur Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“ zusammengefasst:

(Sprachliche) Schwierigkeiten der Aufgabenstellung

S2 gibt an, dass zunächst die Zusammenhänge zwischen den Zahlen erkannt werden müssen (Transkript 1 - 01:34:09-3). Die Fachbegriffe für diese Aufgabenstellung wurden von S2 als einfach zu verstehen gesehen (Transkript 1 - 01:38:03-5).

S4 schätzt die Aufgabenstellung als „eher leichter“ ein. Man müsse zwar denken, aber dann

wäre es nicht mehr so schwierig (Transkript 3 - 00:46:23-2). S6 empfand die letzten beiden Teile der Aufgabenstellung als leicht, den ersten Teil allerdings eher als schwierig (Transkript 4 - 01:19:42-0). Für S6 war das Wort „proportional“ unverständlich, dementsprechend würde er* sie die zugehörige Aufgabe 1 auch ändern (Transkript 4 - 01:21:17-7).

Interesse an der Aufgabenstellung

S4 hat die Bearbeitung der Aufgabenstellung nach eigenen Angaben Spaß gemacht (Transkript 3 - 00:46:41-2). Obwohl sich S4 gewöhnlich eher für technische Aufgabenstellungen interessiere, wäre eine solche Aufgabenstellung zur Abwechslung auch „ganz lustig“ (Transkript 3 - 00:47:07-4). S6 gibt an, dass die biologischen Aspekte der Physik ihn* sie interessieren würden (Transkript 4 - 01:20:03-7) und dass auch diese Aufgabenstellung für ihn* sie interessant gewesen wäre. (Transkript 4 - 01:20:18-4)

4.6 Auswertung der Transkripte auf einen Blick

Im folgenden Kapitel 4.6 wird die im vorangehenden Kapitel vorgenommene detaillierte Analyse der Schüler*innenaussagen überblicksmäßig in tabellarischer Form dargestellt. Der farblichen Markierung der Kästchen kann entnommen werden, ob die Schüler*innen die jeweilige Aufgabenstellung eigenständig bearbeiten konnten (grüne Markierung), mit wenigen Hilfestellungen bearbeiten konnten (gelbe Markierung) oder nur mit sehr viel Hilfestellung bearbeiten konnten (rote Markierung),

4.6.1 Übersicht der Auswertung zur Aufgabenstellung „Elektronik der Nervenzelle“

Teil I: Ruhezustand der Nervenzelle

Schüler*in/Inhalt	Info 1 + Abbildung 1	Aufgabe 1	Aufgabe 2
S 1			
S 3			
S 5			

Tabelle 10: Auswertung Teil I Nervenzelle zu Infotext 1

Schüler*in/Inhalt	Info 2	Aufgabe 3	Aufgabe 4	Aufgabe 5	Aufgabe 6
S 1					
S 3					
S 5					

Tabelle 11: Auswertung Teil I Nervenzelle zu Infotext 2

Teil II: Zelle empfängt Reiz

Schüler*in/Inhalt	Aufgabe 1	Aufgabe 2
S 1		
S 3		
S 5		

Tabelle 12: Auswertung Teil II Nervenzelle

Teil III: Experiment

Schüler*in/Inhalt	Info 3 + Abbildung 2	Aufgabe 1	Aufgabe 2	Aufgabe 3	Aufgabe 4	Aufgabe 5
S 1						
S 3						
S 5						

Tabelle 13: Auswertung Teil III Nervenzelle zu Infotext 3

Schüler*in/Inhalt	Info 4 + Abbildung 3	Aufgabe 6	Aufgabe 7	Aufgabe 8
S 1				
S 3				
S 5				

Tabelle 14: Auswertung Teil III Nervenzelle zu Infotext 3

4.6.2 Übersicht der Auswertung zur Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“

Teil I: Stoffwechselintensitäten verschiedener Tiere

Schüler*in/Inhalt	Info 1	Aufgabe 1	Aufgabe 2
S 2			
S 4			
S 6			

Tabelle 15: Auswertung Teil I Maus-Elefant

Teil II: Grundumsätze verschiedener Tiere

Schüler*in/Inhalt	Info 2	Aufgabe 3	Aufgabe 4	Aufgabe 5	Aufgabe 6
S 2					
S 4					
S 6					

Tabelle 16: Auswertung Teil II Maus-Elefant

Teil III: Das Verhältnis zwischen Körperoberfläche und Volumen verschiedener Tiere

Schüler*in/Inhalt	Aufgabe 7	Aufgabe 8	Aufgabe 9
S 2			
S 4			
S 6			

Tabelle 17: Auswertung Teil III Maus-Elefant

5 DISKUSSION

Im folgenden Kapitel 5 wird die Auswertung des Gesprächsmaterials aus den Akzeptanzbefragungen interpretiert. Dabei werden Schlüsse hinsichtlich der Förderung des physikalischen Verständnisses der Aufgabenstellungen (Kapitel 5.1) gezogen sowie hinsichtlich möglicher Lernhindernisse, die vorkommen können (Kapitel 5.2). Basierend auf den gewonnenen Erkenntnissen werden die beiden Aufgabenstellungen „Elektronik der Nervenzelle“ und „Aus einer Maus einen Elefanten machen“ überarbeitet (Kapitel 5.3). Im Anschluss werden die Schüler*innenaussagen zum Interesse diskutiert (Kapitel 5.4). Die Methode der Akzeptanzbefragung wird, auch im Hinblick auf die gewählten Forschungsfragen, im Kapitel 5.5 evaluiert. Schließlich werden im Unterkapitel 5.6 die Limitationen der Masterarbeit angeführt und ein möglicher Ausblick für zukünftige Forschung gegeben.

5.1 Interpretation der Auswertungen der beiden Aufgabenstellungen hinsichtlich der Förderung des physikalischen Verständnisses

Im folgenden Kapitel 5.1 wird auf Basis der Auswertungen aus Kapitel 4.5 und 4.6 zunächst ausgewertet, wie viele Aufgaben jeweils grün, gelb und rot bewertet wurden. Im Anschluss wird für die beiden Aufgabenstellungen jeweils diskutiert, welcher Art die Aufgabenstellungen waren, die besonders gut bearbeitet werden konnten. Die Aufgaben, die bei mehr als einem*r Schüler*in gelb oder rot bewertet wurden, werden in Kapitel 5.2 detaillierter behandelt.

5.1.1 Interpretation der Auswertungen zur „Elektronik der Nervenzelle“

Wie in Kapitel 4.6.1 überblicksmäßig dargestellt, gab es von insgesamt 58 Bewertungen bei dieser Aufgabenstellung 38 grüne Bewertungen, 15 gelbe Bewertungen und 5 rote Bewertungen. Es konnten also ca. $\frac{2}{3}$ der Aufgabenstellungen selbstständig gelöst werden, ca. $\frac{1}{4}$ der Aufgabenstellungen konnten mit wenigen Hinweisen gelöst werden und ca. bei 10 % war eine detaillierte Anleitung notwendig. Auf Basis dieser Datenlage kann ausgesagt werden, dass die Bearbeitung der Aufgabenstellung für die Schüler*innen mehrheitlich (fast) eigenständig möglich war. Die (bio-)physikalischen Inhalte wurden also im Wesentlichen verständlich präsentiert und auf Basis derselben konnten die gestellten Aufgaben auch gelöst werden. In Hinblick auf die Beantwortung der eingangs gestellten Forschungsfrage kann bestätigt werden,

dass unter Verwendung dieser biophysikalischen Aufgabenstellung das physikalische Verständnis gefördert werden kann.

Bei der Verteilung der Bewertungen auf unterschiedliche Aufgabenstellungen kann festgestellt werden, dass die Arbeitsaufträge zum Wiedergeben von Informationen aus den Informationstexten von allen drei Schüler*innen für alle vier Informationstexte eigenständig erfüllt werden konnten (grüne Bewertung). Auch Aufgabenstellungen, bei denen die Antwort direkt aus den Informationstexten herausgelesen werden kann (vgl. Teil I / A2) bzw. Aufgabenstellungen, die sehr ähnlich zu vorangehenden und bereits gelösten Aufgabenstellungen sind (vgl. Teil I / A4), konnten von allen Schüler*innen selbstständig gelöst werden. Auch Zuordnungsaufgaben (vgl. Teil III / A1), Aufgaben, die auf die Veränderung physikalischer Größen abzielen (vgl. Teil III / A5) und Rechenaufgaben (vgl. Teil III / A7) konnten von allen Schüler*innen gut bearbeitet werden.

5.1.2 Interpretation der Auswertungen zur Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“

Wie in Kapitel 4.6.2 überblicksmäßig dargestellt, gab es von insgesamt 33 Bewertungen bei dieser Aufgabenstellung 17 grüne Bewertungen, 15 gelbe Bewertungen und 1 rote Bewertung. Auffällig ist hierbei, dass der Anteil an Aufgabenstellungen, die selbstständig lösbar waren (grüne Bewertung), und der Anteil der Aufgabenstellungen, die mit wenigen Hilfestellungen lösbar waren, ca. gleich groß sind und jeweils bei rund 50 % liegen. Der Anteil an Aufgabenstellungen, bei denen etwas Hilfe notwendig war, liegt also höher als bei der Aufgabenstellung „Elektronik der Nervenzelle“. Dafür gab es hier nur eine einzige rote Bewertung.

Auch für diese Aufgabenstellung kann daher ausgesagt werden, dass die Bearbeitung der Aufgabenstellung für die Schüler*innen mehrheitlich (fast) eigenständig möglich war. Die (bio-)physikalischen Inhalte wurden also im Wesentlichen verständlich präsentiert und auf Basis derselben konnten die gestellten Aufgaben auch gelöst werden. In Hinblick auf die Beantwortung der eingangs gestellten Forschungsfrage kann bestätigt werden, dass unter Verwendung dieser biophysikalischen Aufgabenstellung das physikalische Verständnis gefördert werden kann.

Im Gesamten betrachtet konnte vor allem der Teil II (bis auf Aufgabe 3) eigenständig bearbeitet werden. Dieser Teil umfasst den Informationstext 2, der von allen Schüler*innen richtig wiedergegeben werden konnte, Berechnungsaufgaben (vgl. A4 + A5), die eigenständig gelöst

werden konnten und eine Aufgabenstellung, bei der die Schüler*innen selbstständig Schlüsse aus ihren Berechnungen ziehen konnten (vgl. A6). Bei den Teilen I und III gab es teilweise Schwierigkeiten bei der Bearbeitung (vgl. Kapitel 5.2.2).

5.2 Interpretation der Auswertungen der beiden Aufgabenstellungen hinsichtlich möglicher Lernhindernisse

Im folgenden Unterkapitel 5.2 der Diskussion werden die beiden Aufgabenstellungen auf Basis der Auswertungen aus Kapitel 4.5 in Bezug auf möglicherweise vorkommende Lernhindernisse interpretiert. Dabei wird auf das Gesprächsmaterial, das in den Transkripten (Anhang 7-10) verschriftlicht wurde, eingegangen. Im Besonderen wird auf die Aufgabenstellungen eingegangen, die für mehrere Schüler*innen laut Ampelsystem als gelb oder rot bewertet wurden (vgl. Kapitel 4.6). Die Interpretation des empirischen Materials findet sich für die Aufgabenstellung „Elektronik der Nervenzelle“ in Kapitel 5.2.1 und für die Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“ in Kapitel 5.2.2.

5.2.1 Interpretation der Auswertungen zur Aufgabenstellung „Elektronik der Nervenzelle“

In der folgenden Tabelle 18 werden überblicksmäßig die Aufgabenstellungen dargestellt, bei denen mehr als ein*e Schüler*in Hilfestellungen benötigte (gelbe oder rote Bewertung). Es werden die Aufgabenstellung selbst, der zugehörige Operator und die angesprochene Kompetenz genannt. Unterhalb der Tabelle werden mögliche Ursachen für die Lernhindernisse der einzelnen Aufgabenstellungen separat interpretiert.

Aufgabe	Operator	Aufgabenstellung	Kompetenz
Teil I / A1	benennen	[...] Benenne die verschiedenen Ionen, die im Zellinneren und -äußeren auftreten und welche Ladung sie besitzen!	W
Teil I / A5	argumentieren	Argumentiere, was dafür und was dagegen spricht, dass die K^+ -Ionen den Kalium-Kanal nutzen, um zurück in den Außenraum der Zelle zu wandern!	S
Teil I / A6	-	[...] Was lässt sich hinsichtlich dieser Potentialdifferenz in Bezug auf die Ladungsverteilung sagen?	W
Teil II / A1	-	[...] Wie werden sich die Na^+ -Ionen hinsichtlich der chemischen bzw. elektrischen Potentialdifferenz verhalten?	S
Teil III / A2	darstellen	Stelle das Erreichen des Ruhezustands und den aktiven Zustand der Zelle jeweils mithilfe eines Schaltplanes dar!	W
Teil III / A3	beschreiben	[...] Beschreibe, was beim Erreichen des Ruhezustands passiert!	E
Teil III / A8	Schlüsse ziehen	[...] Ziehe mithilfe deiner gewonnenen Informationen Schlüsse, wie der Wirkmechanismus des Gifts funktioniert!	S

Tabelle 18: Aufgabenstellungen, die mehr als einmal gelb/rot bewertet wurden („Elektronik der Nervenzelle“)

Teil I / A1: Die erste Aufgabe des ersten Teils der Aufgabenstellung wurde für alle drei Schüler*innen gelb bewertet (vgl. Kapitel 4.5.1). Auffällig ist, dass alle drei Schüler*innen nur die positiven Ladungsträger als Ionen benannten, obwohl in der Aufgabenstellung explizit erwähnt wird, dass auch angegeben werden soll, welche Ladung die einzelnen Ionen jeweils besitzen. Der Fokus der Schüler*innen auf die positiven Ladungsträger könnte möglicherweise dadurch begründet werden, dass nur diese im Informationstext thematisiert werden, der vor Bearbeitung der Aufgabenstellung mit den Schüler*innen durchbesprochen wurde. In Abbildung 1 sind Chlor-Ionen und negativ geladene Proteine allerdings schon dargestellt und diese wird ebenfalls von der Lehrperson erläutert.

Teil I / A5: Die fünfte Aufgabe des ersten Teils der Aufgabenstellung wurde für eine*n Schüler*in rot bewertet und für zwei Schüler*innen gelb bewertet (vgl. Kapitel 4.5.1). Die Schüler*innen müssen zur erfolgreichen Lösung der Aufgabenstellung selbst einen Bezug zwischen dem Verhalten der Kalium-Ionen und der elektrischen bzw. chemischen

Potentialdifferenz herstellen. Es muss neben dieser Information aus Infotext 2 auch die Information aus dem ersten Informationstext genutzt werden und überlegt werden, welche Ladungsverteilung im Ruhezustand hergestellt wird, um auf Basis derer das weitere Verhalten der Ladungsträger zu argumentieren. Es sind also verschiedene Denkschritte und ein tiefergehendes Verständnis für die Vorgänge in der Zelle nötig, um diese Aufgabenstellung zu lösen. Möglicherweise könnte darin die Schwierigkeit dieser Aufgabenstellung liegen, da die drei Schüler*innen jeweils unterschiedliche Teilaspekte der Aufgabenstellung richtig lösen konnten und bei unterschiedlichen Teilaspekten der Aufgabenstellung Schwierigkeiten hatten, weswegen kein bestimmter Denkschritt festgelegt werden kann, der als besonders herausfordernd eingestuft werden kann.

Teil I / A6: Diese Aufgabenstellung wird für zwei Schüler*innen rot und für eine*n Schüler*in grün bewertet. Dabei ist es bei einem*r Schüler*in so, dass von der Fragestellung sofort richtig auf das Minus vor den -70 mV geschlossen wird, das eine Bedeutung für die Beantwortung hat, allerdings wird die Bedeutung des Minus nicht richtig für die Situation in der Zelle interpretiert. Bei dem*r anderen Schüler*in fehlt das physikalische Vorwissen, dass es so etwas wie eine negative Spannung überhaupt gibt. Der*die dritte Schüler*in kann die entsprechende Ladungsverteilung richtig beschreiben, verwendet dazu aber fälschlicherweise die Begriffe „Nordpol“ und „Südpol“. Daraus, dass zwei Schüler*innen von der Fragestellung zu richtigen Denkansätzen gelangen, kann darauf geschlossen werden, dass mit der Fragestellung eine klare Erwartungshaltung zur Beantwortung aufgebaut wird. Warum die Fragestellung von den Schüler*innen nicht vollständig richtig beantwortet werden kann, liegt möglicherweise eher am fehlenden physikalischen Vorwissen zur Spannung bzw. Potentialdifferenz und teilweise auch an den fehlenden fachsprachlichen Kompetenzen.

Teil II / A1: Die erste Aufgabenstellung des zweiten Teils zur „Elektronik der Nervenzelle“ wurde für zwei Schüler*innen gelb und für eine*n Schüler*in grün bewertet. Diese Aufgabenstellung ist sehr ähnlich zur A5 im Teil I der Aufgabenstellung, nur dass dieses Mal argumentiert werden soll, wie sich die Natrium-Ionen bei Öffnung des Natrium-Kanals verhalten werden. Dass die Bearbeitung dieser Aufgabenstellung den Schüler*innen etwas leichter gefallen ist als die vorangehende Aufgabenstellung und deutlich weniger Strukturierung des Denkprozesses durch die Lehrperson nötig war, könnte eben genau daran liegen, dass eine ähnliche Aufgabenstellung bereits zuvor schon einmal durchgespielt wurde.

Teil III / A2: Die zweite Aufgabenstellung aus Teil III wurde für zwei Schüler*innen gelb und für eine*n Schüler*in rot bewertet. Zur richtigen Beantwortung dieser Aufgabenstellung ist es nötig, dass die Schüler*innen die Schaltsymbole für Spannungsquelle, Widerstand und

Kondensator kennen, dass die Schüler*innen die zuvor erklärte Funktionsweise des Kondensators verstanden haben und dass sie die elektronischen Bauteile so in einem Schaltkreis anordnen können, dass diese die Situation des Erreichens des Ruhezustands und den aktiven Zustand richtig widerspiegeln. Die Schaltsymbole von Spannungsquelle und Widerstand waren teilweise bekannt und das Schaltsymbol des Kondensators wurde von der Lehrperson vorgegeben. Alle Schüler*innen hatten aber Schwierigkeiten bei der richtigen Anordnung der elektronischen Bauteile. Da die Zuordnung der elektronischen Bauteile zu den entsprechenden Zellbestandteilen in der vorangehenden ersten Aufgabe des dritten Teils von allen Schüler*innen eigenständig vorgenommen werden konnte, stellt offenbar nicht die Anwendung der physikalischen Bauteile auf den biophysikalischen Kontext, also deren Funktion für die Zelle, eine Schwierigkeit dar, sondern deren Funktion im Stromkreis bzw. die Anordnung physikalischer Bauteile in einem Stromkreis.

Teil III / A3: Diese Aufgabenstellung wurde für zwei Schüler*innen gelb und für eine*n Schüler*in grün bewertet. Bei der Auswertung des Gesprächsmaterials zu dieser Aufgabenstellung hat sich gezeigt, dass die Interpretation der Versuchsergebnisse zwei Schüler*innen deswegen Schwierigkeiten bereitete, weil die Funktion des Kondensators in den beiden Versuchsanordnungen teilweise unklar war. Beide Schüler*innen hatten Schwierigkeiten damit, festzustellen, in welcher Versuchsanordnung der Kondensator geladen und in welcher entladen wird bzw. wann das Lämpchen in beiden Anordnungen leuchtet und warum. Daraus kann geschlossen werden, dass das neu eingeführte Bauteil des Kondensators durch den Informationstext 4 nicht hinreichend gut erklärt wurde oder dieses Wissen zumindest nicht auf eine praktische Versuchsanordnung mit einem Widerstand angewandt werden kann. Eine weitere Interpretationsmöglichkeit wäre, dass auch die Rolle eines Widerstands im Stromkreis und somit erneut die Funktionsweise elektronischer Bauteile im Stromkreis nicht hinreichend bekannt ist.

Teil III / A8: Die Bearbeitung der letzten Aufgabenstellung wurde für eine*n Schüler*in grün und für eine*n Schüler*in rot bewertet. Für den*die dritte*n Schüler*in konnte die Bearbeitung aus zeitlichen Gründen nicht mehr vorgenommen werden. Die rote Bewertung für eine*n Lernende*n kam daher, dass fälschlich argumentiert wurde, dass die Potentialdifferenz sich im Ruhezustand auf 0 verringert und somit der Prozess des Erreichens des Ruhezustands nicht hinreichend verstanden wurde.

5.2.2 Interpretation der Auswertungen zur Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“

In der folgenden Tabelle 19 werden überblicksmäßig die Aufgabenstellungen dargestellt, bei denen mehr als ein*e Schüler*in Hilfestellungen benötigte (gelbe oder rote Bewertung). Es werden die Aufgabenstellung selbst, der zugehörige Operator und die angesprochene Kompetenz genannt. Unterhalb der Tabelle werden mögliche Ursachen für die Lernhindernisse der einzelnen Aufgabenstellungen separat interpretiert.

Aufgabe	Operator	Aufgabenstellung	Kompetenz
Info 1	wiedergeben	-	W
Teil I / A1	abschätzen	[...] Schätze die Stoffwechselintensität eines Elefanten P_{Elefant} mit $m_{\text{Elefant}}=4 \text{ t}$ mithilfe des gegebenen Proportionalitätsverhältnisses ab!	W
Teil I / A2	benennen	[...] Benenne die Größenordnung der Abweichung!	E
Teil II / A3	berechnen	[...] Berechne sowohl den Grundumsatz der Maus als auch den des Elefanten!	W
Teil III / A7	berechnen	[...] Berechne näherungsweise die Körperoberfläche und das Volumen der Maus, wenn der Körper der Maus als rund angenommen wird!	W
Teil III / A8	begründen	Begründe nun: Wenn der Durchmesser eines Elefanten 3,4 m betragen würde, um das Wievielfache würde sich die Oberfläche bzw. das Volumen des Elefanten vergrößern?	W
Teil III / A9	erläutern	[...] Erläutere, wie diese Informationen mit dem geringeren Grundumsatz bzw. der geringeren Stoffwechselintensität des Elefanten zusammenhängen könnten!	S

Tabelle 19: Aufgabenstellungen, die mehr als einmal gelb/rot bewertet wurden („Aus einer Maus einen Elefanten machen“)

Teil I / Info 1: Die Wiedergabe der gegebenen Informationen des Informationstexts 1 wurde für zwei Schüler*innen gelb bewertet und für eine*n Schüler*in grün. Ein*e Schüler*in interpretierte den Begriff Proportionalität richtig, indem gesagt wurde, dass sich die Stoffwechselintensität hoch drei viertel verdoppelt, wenn die Masse hoch drei viertel verdoppelt wird. Die anderen beiden Schüler*innen wurden gelb bewertet, da ihnen die Bedeutung des Begriffs Proportionalität nicht bekannt war.

Teil I / A1: Die Bearbeitung der Aufgabe 1 des ersten Teils der Aufgabenstellung wurde für eine*n Schüler*in grün, für eine*n Schüler*in gelb und für eine*n Schüler*in rot bewertet. S2 konnte die Aufgabestellung richtig lösen (und wurde grün bewertet), obwohl S2 der Begriff „Proportionalität“ unbekannt war. Daraus kann geschlossen werden, dass das Vokabular, nicht aber die zu setzenden Rechenschritte eine Herausforderung für den*die Schüler*in darstellten. S4 konnte den Informationstext zuvor richtig erklären, machte nun allerdings Umwandlungsfehler bzw. Tippfehler. Der Rechengang selbst bereitete aber keine Schwierigkeiten. Bei S6 wirkte sich die Tatsache, dass die Bedeutung des Wortes „Proportionalität“ unbekannt war auch so aus, dass S6 nicht wusste, wie die Stoffwechselintensität des Elefanten berechnet werden konnte und dementsprechend sehr detaillierte Anleitungsschritte notwendig waren. Aus den Auswertungen kann geschlossen werden, dass die Aufgabenstellung lösbar ist, selbst wenn das Fachvokabular nicht bekannt ist. Die größte Rolle für die erfolgreiche Bearbeitung der Aufgabenstellung spielt das implizite Verständnis der Verhältnisrechnung.

Teil I / A2: Die zweite Aufgabe des ersten Teils der Aufgabenstellung wurde für zwei Schüler*innen gelb und für eine*n Schüler*in grün bewertet. Da diese Aufgabenstellung sehr ähnlich zur vorangehenden Aufgabe 1 ist, konnte die Berechnung von den Schüler*innen richtig vorgenommen werden. Zwei Schüler*innen war allerdings nicht bekannt, was mit dem Begriff „Größenordnung“ gemeint ist und sie konnten dementsprechend die Aufgabenstellung nicht richtig beantworten.

Teil II / A3: Diese Aufgabenstellung wurde für alle drei Schüler*innen gelb bewertet. Bei zwei von drei Schüler*innen war es hier eine Herausforderung, den Grundumsatz des Elefanten auf Basis der Angabe richtig zu berechnen. Hier können Verständnisschwierigkeiten bei der Formulierung der Angabe „Der Grundumsatz der Maus ist pro Gramm Körpergewicht 65-mal höher als der des Menschen und 200-mal höher als der des Elefanten“ angenommen werden. Der*Die dritte Schüler*in machte erneut Fehler beim Umrechnen der Einheiten bzw. Tippfehler am Taschenrechner.

Teil III / A7: Die Bearbeitung dieser Aufgabenstellung wird für alle drei Schüler*innen gelb bewertet. Bei dieser Aufgabenstellung wurde Anleitung hinsichtlich dessen benötigt, dass der runde Körper als „Kugel“ angenommen wird und deren Oberflächen- bzw. Volumenformel waren unbekannt. Außerdem wurde teilweise mit dem Durchmesser anstelle des Radius gerechnet. Hier könnte man die Lösungsschwierigkeiten auf fehlende mathematische Kompetenzen zurückführen.

Teil III / A8: Diese Aufgabe wurde für zwei Schüler*innen gelb und für eine*n Schüler*in grün bewertet. Diese Aufgabenstellung zielt erneut auf die Proportionalität ab, in dem Fall zwischen Radius und Oberfläche bzw. Volumen. Zwei Schüler*innen hatten Schwierigkeiten damit, diesen Zusammenhang richtig zu argumentieren und benötigten dabei Hilfestellung.

Teil III / A9: Diese letzte Aufgabenstellung wurde für zwei Schüler*innen gelb und für eine*n Schüler*in grün bewertet. Bei dieser Aufgabe sollte die Größe des Grundumsatzes bzw. der Stoffwechselintensität mit dem Skelettanteil eines Tieres in Zusammenhang gebracht werden. Zwei Schüler*innen benötigten Hilfestellung dabei zu argumentieren, welche Rolle das Skelett für den Grundumsatz bzw. für die Stoffwechselintensität spielt. Die beiden Begriffe wurden aber schließlich richtig verwendet, weswegen man schlussfolgern kann, dass die beiden Konzepte verstanden wurden, die Rolle des Skeletts für den Energiehaushalt aber nicht hinreichend bekannt ist bzw. zu wenig erklärt wurde.

5.2.3 Zusammenfassende Darstellung möglicher Herausforderungen / Lernhindernissen

Wie in Kapitel 4.2 beschrieben, ist es das Ziel der Akzeptanzbefragung, verschiedene Lernverläufe kennenzulernen und Lernhindernisse festzustellen. In der folgenden Tabelle 20 werden zusammenfassend mögliche Herausforderungen bzw. Lernhindernisse dargestellt, die bei der Bearbeitung der beiden Aufgabenstellungen durch die Schüler*innen festgestellt wurden. Die Teilaufgaben, die die Aufgabenstellung zur „Elektronik der Nervenzelle“ betreffen, werden farblich blau markiert, und diejenigen, die die Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“ betreffen, werden farblich pink markiert.

Mögliche Herausforderungen/Lernhindernisse	Betreffende Teilaufgaben
<u>Information durch die Lehrperson:</u> Zur Beantwortung relevante Informationen wurden nicht ausreichend prominent erwähnt, sodass die Aufgabenstellung nur teilweise richtig beantwortet wurde.	Teil I / 1
<u>Komplexe Aufgabenstellung:</u> Zur richtigen Bearbeitung der Aufgabenstellung sind mehrere Denkschritte und ein mehrheitliches Verständnis der gegebenen Informationen notwendig.	Teil I / A5 Teil II / A1
<u>Physikalisches Vorwissen:</u> Aufgrund des fehlenden physikalischen Vorwissens konnte die Aufgabenstellung nicht eigenständig bearbeitet werden.	Teil I / A6 Teil III / A2 Teil III / A3 Teil I / A2
<u>Physikalische Symbole:</u> Zur erfolgreichen Bearbeitung der Aufgabenstellung müssen physikalische Symbole (z.B.: Schaltsymbole) bekannt sein.	Teil I / A6 Teil III / A2
<u>Mathematisches Vorwissen:</u> Zur Bearbeitung der Aufgabenstellung ist mathematisches Vorwissen notwendig.	Teil I / A1 Teil III / A7 Teil III / A8
<u>Fachsprache:</u> Zur Bearbeitung der Aufgabenstellung muss fachsprachliches Vokabular bekannt sein.	Teil I / A6 Infotext 1 Teil I / A1 Teil I / A2
<u>Sprachliche Formulierung der Aufgabenstellung:</u> Der Satzbau der Aufgabenstellung ist komplex.	Teil II / A3
<u>Transferleistung:</u> Zur erfolgreichen Bearbeitung der Aufgabenstellung muss das erworbene Wissen in einem anderen Kontext angewandt werden.	Teil III / A8 Teil III / A9

Tabelle 20: Herausforderungen und Lernhindernisse der beiden Aufgabenstellungen

Bei der Analyse der verschiedenen Teilbereiche, die Hindernisse bei der richtigen Bearbeitung der biophysikalischen Aufgabenstellungen sein können, ist auffällig, dass einige Teilbereiche mit dem physikalischen Verständnis nicht oder nicht direkt im Zusammenhang stehen. Mit Akzeptanzbefragungen soll herausgefunden werden, inwieweit Schüler*innen physikalische Theorien akzeptieren (vgl. Kapitel 4.2). Im Zuge dieser Akzeptanzbefragung hat sich allerdings herausgestellt, dass für den Lernerfolg viele Bereiche eine Rolle spielen und dass bei der Analyse des Gesprächsmaterials genau herausgearbeitet werden sollte, ob eine Aufgabenstellung aufgrund des fehlenden physikalischen Verständnisses nicht gelöst werden kann oder ob möglicherweise auch andere Aspekte, wie etwa die Formulierung der Aufgabenstellungen, fehlende fachsprachliche Kenntnisse oder fehlende mathematische Kenntnisse ausschlaggebend sein könnten. Bei der Durchführung der Akzeptanzbefragung erhält man also das Gesprächsmaterial eines*r Schülers*in, das durch die Person des*r Schülers*in bestimmt wird, also etwa durch dessen*deren Vorwissen, Lernendenvorstellungen, Einstellungen, und das somit nicht nur auf den physikalischen Bereich beschränkt ist. Wenn man herausarbeiten möchte, ob eine Aufgabenstellung für das physikalische Verständnis förderlich ist, müssen sämtliche andere Aspekte mitberücksichtigt werden. Die Lernhindernisse, die aufgrund von fehlendem Vorwissen, egal ob physikalisch, mathematisch oder symbolisch, beruhen, sollen im folgenden Kapitel 5.3 zur Überarbeitung der Aufgabenstellungen mit „Hilfskärtchen“ behoben werden. Sprachlich begründete Hindernisse werden ebenfalls bei der Überarbeitung der Aufgabenstellung zu nehmen versucht.

5.2.4 Lernendenvorstellungen Aufgabenstellung „Elektronik der Nervenzelle“

Im Rahmen der Akzeptanzbefragung wurden die Schüler*innen am Ende jeder Teilaufgabe dazu aufgefordert, die Aufgabenstellung schriftlich eigenständig zu beantworten. Die ausgefüllten Aufgabenstellungen wurden nach der Befragung von der Lehrperson abgesammelt und auf auftretende Lernendenvorstellungen untersucht. Vermutlich aufgrund dessen, dass die Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“ viele Rechenaufgaben beinhaltet und zur Bearbeitung wenig physikalisches Vorwissen notwendig ist, konnten hier keine Lernendenvorstellungen herausgearbeitet werden.

Für die Aufgabenstellung „Elektronik der Nervenzelle“ werden die vorkommenden nun genannt:

Aufgabe	Zitat des*der Schüler*in	Lernendenvorstellung
Teil I / A3	Grafische Darstellung: Bei der grafischen Darstellung der minimalen elektrischen Potentialdifferenz wurden die Ladungsträger zwar jeweils in Innen- und Außenraum mit ungleichen Vorzeichen angeordnet, nicht aber über die Membran hinweg.	Die elektrische Kraft wirkt nicht durch Hindernisse (z.B.: die Membran) hindurch.
Teil III / A3	„Die Elektronen fließen durch die Lampe, dabei leuchtet sie kurz, und dann fließt es zum Kondensator, wo die Ladung dann gespeichert wird.“	Die Ladungsträger passieren der Reihe nach (zeitlich und örtlich) verschiedene elektrische Bauteile.

Tabelle 21: Lernendenvorstellungen

5.3 Überarbeitung der beiden Aufgabenstellungen

Im anschließenden Kapitel 5.3 werden die wichtigsten Veränderungen an den beiden Aufgabenstellungen beschrieben, die auf Basis der Auswertungen vorgenommen wurden. Veränderungen wurden bei einigen Aufgabenstellungen vorgenommen, die im Kapitel 5.2 begründet als für mehr als eine*n Schüler*in herausfordernd eingestuft wurden. Die überarbeiteten Aufgabenstellungen sind im Gesamten in Anhang 11 („Elektronik der Nervenzelle“) und in Anhang 13 („Aus einer Maus einen Elefanten machen“) einzusehen. Die genauere Beschreibung der vorgenommenen Änderungen an der Aufgabenstellung „Elektronik der Nervenzelle“ findet sich in Kapitel 5.3.1 und für die Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“ in Kapitel 5.3.2.

5.3.1 Überarbeitung der Aufgabenstellung „Elektronik der Nervenzelle“

Die überarbeitete Version der Aufgabenstellung zur „Elektronik der Nervenzelle“ gemäß der Interpretation der Auswertungen aus Kapitel 5.2.1 ist in Anhang 11 einzusehen. Welche Änderungen vorgenommen wurden, wird nun beschrieben. Um auf die Schwierigkeiten bei der ersten Aufgabenstellung von Teil I der Aufgabenstellung einzugehen, wurden nun auch die negativen Ladungsträger (Chlor und Proteine) im Informationstext 1 (und nicht nur in der Abbildung) erwähnt. Die fünfte Aufgabe des ersten Teils der Aufgabenstellung wurde durch folgenden Hinweis ergänzt, sodass den Schüler*innen schon durch die Arbeitsanweisung der

Denkprozess erleichtert werden soll („Berücksichtige dabei, dass die Ladungen wandern, um eine minimale elektrische und chemische Potentialdifferenz herzustellen!“). Aufgabe 6 des ersten Teils der Aufgabenstellung wird nun mittels Operators und sprachlich etwas eindeutiger formuliert („Beschreibe in Worten, was diese Potentialdifferenz von -70 mV über die Ladungsverteilung aussagt!“). Die erste Aufgabenstellung des zweiten Teils wird nun ebenfalls mithilfe eines Operators formuliert („Argumentiere, wie sich die Na⁺-Ionen aufgrund der chemischen und elektrischen Potentialdifferenz bewegen werden!“), ansonsten allerdings nicht verändert, da sie der Aufgabe 5 aus dem ersten Teil der Aufgabenstellung entspricht. Zur zweiten Aufgabenstellung aus Teil III wurden Hilfskärtchen (vgl. Anhang 12) erstellt, die kurz die Bedeutung von (Gleich-)Spannungsquelle und Widerstand für den elektrischen Stromkreis erläutern und deren Schaltsymbole zeigen. Diese können von den Schüler*innen eingesehen werden und im Rahmen der Akzeptanzbefragung gemeinsam mit der Lehrperson besprochen werden. Sowohl die dritte Aufgabenstellung des dritten Teils der Aufgabenstellung als auch Aufgabe 8 wurden wie bisher belassen. Beide Aufgabenstellungen wurden nicht verändert, da die Aufgabenstellung auch herausfordernde Aufgabenstellungen enthalten soll und es das Ziel ist, dass die Schüler*innen auch Transferleistungen erbringen, wie etwa den Bezug der Informationen des Kondensators auf eine konkrete Situation (Experiment in Teil III) bzw. der Gegebenheiten der Nervenzelle auf ein konkretes Beispiel (Denkaufgabe in Teil III).

5.3.2 Überarbeitung der Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“

Die überarbeitete Version der Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“, gemäß der Interpretation der Auswertungen aus Kapitel 5.2.2, ist in Anhang 13 einzusehen. Im Folgenden werden kurz die Änderungen beschrieben, die an der Aufgabenstellung vorgenommen wurden. Da vor allem der erste Teil den Schüler*innen Schwierigkeiten bereitet hat, wurde die Reihenfolge der Teilabschnitte der Aufgabenstellung so verändert, dass Teil I und Teil II miteinander getauscht wurden. Die anschließenden Verweise auf die einzelnen Teilaufgaben beziehen sich auf die ursprüngliche Version der Aufgabenstellung.

Um auf die eher mathematisch begründeten Schwierigkeiten zum ersten Teil der Aufgabenstellung einzugehen, wurden Hilfskärtchen zur „Proportionalität“ und zu den „Größenordnungen“ erstellt, die bei Bedarf den Schüler*innen vorgelegt und gemeinsam besprochen werden können (vgl. Anhang 14). Aufgabe 3 des zweiten Teils der Aufgabenstellung wurde zum besseren Verständnis umformuliert („Der Grundumsatz der Maus ist pro Gramm Körpergewicht 65-mal höher als der des Menschen und der Grundumsatz der

Maus ist außerdem 200-mal höher als der des Elefanten. [...]“). Für Aufgabe 7 wurde ebenfalls ein Hilfskärtchen erstellt (vgl. Anhang 14), das die Formeln für Oberfläche und Volumen der Kugel vorgibt, und, falls notwendig, eingesehen werden kann. Die achte Aufgabenstellung des dritten Teils wurde nicht überarbeitet, da sich die Schwierigkeiten hier ebenfalls auf die Proportionalität beziehen, zu der bereits Hilfskärtchen entwickelt wurden. Die Denkaufgabe zum Skelettanteil von Maus und Elefant (Aufgabe 9) wurde nicht verändert, da hier wieder eine Transferleistung von den Schüler*innen erbracht werden soll.

5.4 Förderung des Interesses an Physik durch biophysikalische Aufgabenstellungen

Die Interessantheit der Aufgabenstellungen bzw. deren Kontexte wurde durch mündliche Befragung der Schüler*innen erhoben. Die wichtigsten Schüler*innenaussagen dazu wurden in Kapitel 4.5.3 im Zuge der Auswertung der Abschlussfragen angeführt.

In Bezug auf die Aufgabenstellung „Elektronik der Nervenzelle“ kann festgehalten werden, dass diese für alle drei Schüler*innen als interessant empfunden wird. Dabei begründet ein*e Schüler*in die Interessantheit der Aufgabenstellung daran, dass es sich dabei um eine „Logikaufgabe“ handle (Transkript 1 - 01:35:43-3). Die anderen beiden Schüler*innen begründen die Interessantheit am gewählten Kontext, der sich mit etwas auseinandersetzt, das „in uns drinnen passiert“ (Transkript 2 - 01:14:26-3). Es kann bei zwei von drei Schüler*innen ein Bezug zwischen der kontextuellen Einbettung der Aufgabenstellung und dem Interesse der Schüler*innen für den physikalischen Inhalt festgestellt werden.

In Bezug auf die Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“ gibt ein*e Schüler*in konkret an, dass er*sie sich vor allem für die biologischen Anteile der Physik interessiere und daher die Aufgabenstellung interessant gewesen wäre (Transkript 4 - 01:20:18-4). Ein*e Schüler*in gibt an, dass er*sie sich vor allem für technische Inhalte interessiere, die Bearbeitung dieser Aufgabenstellung aber auch Spaß gemacht hätte (Transkript 3 - 00:47:07-4). Diese*r Schüler*in könnte vermutlich dem Interessentyp A zugeordnet werden, für den physikalische Inhalte interessant sind, unabhängig davon, in welchem Kontext sie dargeboten werden (vgl. Kapitel 1.1.2). Ein*e Schüler*in gab an, dass diese Aufgabenstellung interessanter gewesen wäre als die zur Nervenzelle. (Transkript 1 - 01:34:56-3)

Im Gesamten kann ausgesagt werden, dass von den sechs befragten Schüler*innen zumindest drei durch den biophysikalischen Kontext besonders angesprochen wurden und deren Interesse auch damit im Zusammenhang steht (Interessentyp B). Auch die anderen drei Schüler*innen fanden die Aufgabenstellungen interessant, wenn auch nicht dezidiert hinsichtlich des

biophysikalischen Kontextes. Die im Rahmen der Akzeptanzbefragungen gesammelten Ergebnisse decken sich mit denen der IPN-Interessenstudie, da die Hälfte der Befragten besonders durch den Interessenbereich „Mensch und Natur“ begeistert werden kann und auch Schüler*innen, die sich eher für technische Inhalte oder Logik-Aufgaben interessieren, dennoch auch mit dem Interessenbereich „Mensch und Natur“ angesprochen werden können (Interessentyp A). Die Förderung des Interesses an physikalischen Inhalten durch eine Einbettung in einen biophysikalischen Kontext kann für die befragten Schüler*innen bestätigt werden.

5.5 Evaluierung der Methode der Akzeptanzbefragung

Im Zuge dieses Kapitels werden die Erfahrungen mit der Methode der Akzeptanzbefragung beschrieben. Es wird auf die Vor- und Nachteile der Methode, auch in Bezug auf die Verwendung in dieser Masterarbeit eingegangen, vor allem auch in Hinblick darauf, worauf als Lehrperson geachtet werden sollte. Es wurden vier Akzeptanzbefragungen mit insgesamt sechs Schüler*innen durchgeführt. Obwohl zwei Akzeptanzbefragungen gleichzeitig mit zwei Schüler*innen durchgeführt wurden (wobei die Schüler*innen dabei jeweils unterschiedliche Aufgabenstellungen bearbeiteten), wurden ca. fünf Stunden Gesprächsmaterial aufgezeichnet und transkribiert. Für die Durchführung einer Akzeptanzbefragung muss man sich also Zeit nehmen und nicht nur für die Durchführung, auch für die Auswertung des Gesprächsmaterials benötigt man viel Zeit. Es wäre aufwendig, mit dieser Methode große Stichproben an Schüler*innen zu untersuchen und es ist fraglich, ob quantitative Aussagen überhaupt getroffen werden können. Denn diese Methode eignet sich insbesondere dazu, eine*n oder wenige Schüler*innen individuell zu untersuchen. Die Erkenntnisse, die aus dieser Arbeit gewonnen wurden, können daher nicht generalisiert werden. Dafür erhält man allerdings detaillierte Informationen über die Schüler*innen, die befragt wurden, nicht nur über den Grad des Verständnisses der Aufgabenstellungen durch die Bearbeitung der einzelnen Arbeitsaufträge, sondern auch über deren Vorwissen, Lernendenvorstellungen und über ihre Denkprozesse bei der Bearbeitung der Aufgabenstellung. Dadurch, dass ein Gespräch zwischen Lehrperson und Schüler*in stattfindet, kann die Lehrperson am Verlauf des Gesprächs erkennen, wie der*die Schüler*in zur jeweiligen Lösung findet, da die Gedanken artikuliert werden. Beim schriftlichen Ausfüllen des Arbeitsauftrages etwa finden Vorüberlegungen häufig im Kopf statt und nur die finale (als beste befundene Überlegung) wird schließlich als Antwort notiert. Außerdem kann aus dem Gesprächsmaterial auch besser herausgelesen werden, wie sicher sich

der*die Schüler*in mit seiner*ihrer Antwort ist, da auch in einem Zögern oder aus dem Tonfall Informationen herausgelesen werden können, die beim schriftlichen Beantworten eines Arbeitsauftrages ebenfalls verlorengehen. Die Lehrperson kann außerdem im Moment auf die Bedürfnisse des*der Schüler*in eingehen, notwendige Zusatzinformationen bereitstellen und Fragen beantworten. Um das gut machen zu können, benötigt aber auch die Lehrperson verschiedenste Kompetenzen. Sinnvoll ist es, sich schon zuvor, wie bei es bei der Entwicklung des Interviewleitfades gemacht wurde, zu überlegen, wo Schwierigkeiten auftreten könnten und entsprechende Hinweise bereits vorab zu formulieren sowie Fragen, die Denkprozesse anregen sollen, wenn der*die Schüler*in bei einer Aufgabenstellung nicht weiterweiß. Es wäre gut, wenn die Lehrperson dabei darauf achtet, nicht schon durch Gestik, Mimik, Tonfall oder Art der Fragestellung die richtige Antwort anzudeuten oder auch richtige Antworten von Schüler*innen sofort zu bestätigen. Schließlich geht es auch darum, herauszufinden, wie stabil die (physikalischen) Vorstellungen der Schüler*innen sind. Wenn ein*e Schüler*in bei einer Fragestellung besonders viele Hilfestellungen benötigt, ist es wichtig, als Lehrperson nicht zu kleinschrittige Fragestellungen mit bereits vorgefertigten Antworten zu stellen, um das Gespräch nicht als fragend-entwickelnden Unterricht zu gestalten und den Aussagen der Schüler*innen genug Raum zu geben. Im Zuge der durchgeführten Akzeptanzbefragungen hat es sich zusätzlich als hilfreich erwiesen, als Lehrperson ein einheitliches Vokabular zu verwenden, damit die Informationen, die von der Lehrperson kommen, präzise formuliert werden können und auch nicht zu viele Begriffe eingeführt werden müssen (zusätzlich zu physikalischen Begriffen kommen hier auch biophysikalische Begriffe vor). Der Fokus sollte aber auf dem liegen, was die Schüler*innen sagen.

Durch das detaillierte Material zur Bearbeitung der Aufgabenstellung durch die Schüler*innen eignet sich die Methode gut dazu festzustellen, inwieweit die Aufgabenstellung für die Schüler*innen eigenständig lösbar war und wo Hilfestellungen welcher Art notwendig waren. So können zum einen Schlussfolgerungen über das physikalische Verständnis der Schüler*innen zum jeweiligen Themengebiet (z.B.: auch über die abschließenden Denkaufgaben, die die S-Kompetenz der Schüler*innen ansprechen) gezogen werden, als auch über die Qualität der Aufgabenstellung. Diese Methode eignet sich also gut dazu, festzustellen, ob die Arbeitsaufträge klar formuliert waren oder ob weitere Erklärungen von der Lehrperson notwendig waren, wie an die Aufgabenstellung herangegangen werden könnte. Durch das aufgezeichnete Gesprächsmaterial erhält man hier auch mehr Informationen, als wenn die Schüler*innen die Arbeitsaufträge nur schriftlich bearbeiten würden. Es können also Lernhindernisse, die durch die Aufgabenstellung entstehen können, gut untersucht werden.

Die Erhebung der Interessen der Schüler*innen ist im Rahmen dieser Methode zwar durch gezielte Fragestellungen möglich (wie es hier auch gemacht wurde), es ist allerdings fraglich, ob Informationen zum Interesse der Schüler*innen nicht besser mittels Fragebogen erhoben werden könnten, da die Aussagen der Schüler*innen im Gespräch möglicherweise dadurch beeinflusst sein könnten, dass die Lehrperson das Feedback direkt erhält. Schriftlich würden sich die Schüler*innen möglicherweise auch eher trauen, etwas Negatives auszusagen. Für die Fragestellung, inwieweit mittels Akzeptanzbefragung erhoben werden kann, ob biophysikalische Aufgabenstellungen das Interesse der Schüler*innen treffen, wird die Eignung der Methode daher als weniger geeignet im Vergleich zu anderen Methoden (z.B.: Fragebogen) eingestuft.

5.6 Limitationen der Masterarbeit und Ausblick

In Bezug auf die Entwicklung der beiden Aufgabenstellungen, die Erprobung der beiden Aufgabenstellungen und die Auswertungen sind folgende Einschränkungen zu berücksichtigen:

- Vor allem in Bezug auf die Aufgabenstellung „Elektronik der Nervenzelle“ wurden die biophysikalischen Inhalte vereinfacht dargestellt. Zum einen wurde der Ruhezustand der Nervenzelle deutlich ausführlicher behandelt als der aktive Zustand, da die Aufgabenstellung ansonsten sehr lange geworden wäre. Daher ist der aktive Zustand auch nur so weit beschrieben, wie es zur experimentellen Darstellung mittels Kondensators notwendig ist. Die Depolarisation bzw. Repolarisation der Zelle werden nicht näher beschrieben. Die Schaltskizzen für das Erreichen des Ruhezustands der Nervenzelle und für den aktiven Zustand der Nervenzelle sind stark vereinfacht dargestellt, da z.B.: die verschiedenen Widerstände zu einem Gesamtwiderstand zusammengefasst wurden und auch nur ein Zellabschnitt betrachtet wird.
- Für die Aufgabenstellung „Elektronik der Nervenzelle“ wurde im Rahmen der Didaktischen Analyse eine Möglichkeit vorgestellt, wie die Aufgabenstellung in eine längere Unterrichtssequenz eingebaut werden könnte. Die Erprobung dieser Aufgabenstellung und auch der Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“ erfolgten ohne Einbettung in einen größeren unterrichtlichen Kontext. Um tiefergehende Erkenntnisse in Hinblick auf das physikalische Verständnis zu gewinnen, wäre es sinnvoll, mehrere Akzeptanzbefragungen durchzuführen und/oder die Aufgabenstellungen in eine längere Sequenz einzugliedern.

- Die Aufgabenstellungen wurden größtenteils an Schüler*innen getestet, die an Begabungsförderungsprogrammen teilnehmen (Physikolympiade-Kurse). Auch die vorangehenden Pilotstudien wurden entweder mit Schüler*innen durchgeführt, die einen Laborzweig besuchen oder ebenfalls mit Schüler*innen, die Physik-Olympiade-Kurse besuchen. Die Aufgabenstellungen könnten daher möglicherweise für den Regelunterricht zu herausfordernd sein bzw. es könnte eine stärkere Anleitung durch die Lehrperson erforderlich sein. Auf welche Weise die beiden Aufgabenstellungen im Unterricht am sinnvollsten eingesetzt werden können, müsste noch weiter erprobt werden.
- Die befragte Schüler*innengruppe kann aufgrund der folgenden Parameter als homogen eingestuft werden: Interessensprofil, Altersgruppe, besuchte Schule bzw. Schulform. Die befragten Schüler*innen nehmen an Begabungsförderungsprogrammen für Physik teil und besuchen die 8. oder 9. Schulstufe in einem Wiener Gymnasium.
- Die sechs durchgeführten Akzeptanzbefragungen stellen Einzelergebnisse dar. Es kann aus den Erkenntnissen hinsichtlich des physikalischen Verständnisses der einzelnen Schüler*innen bzw. deren Interessen nicht auf größere Schüler*innengruppen geschlossen oder Generalisierungen getroffen werden. Es werden individuelle Lernverläufe betrachtet.
- Die Lehrperson ist zum einen Ersteller*in der Aufgabenstellung, Interviewer*in und Lehrende*r sowie Auswerter*in der Ergebnisse. Bei der Analyse und Interpretation der Ergebnisse muss diese Tatsache berücksichtigt werden, da die Lehrperson weder als Interviewer neutral agieren kann und nicht nur Fragen stellt, sondern auch Informationen bereitstellt und auch bei der Auswertung möglicherweise durch persönliche Eindrücke während des Gesprächs beeinflusst sein könnte.

In Hinblick auf zukünftige Forschung wäre es sinnvoll, die biophysikalischen Aufgabenstellungen noch an einer heterogenen Gruppe zu testen, um die Aussagekraft der gewonnenen Daten zur Förderung des physikalischen Verständnisses und des Interesses zu verstärken. Mit Sicherheit könnte man für weitere Erkenntnisse die Akzeptanzbefragungen in mehreren Etappen vornehmen, da so auch Lernverläufe deutlicher erkennbar sind. Eine sinnvolle Ergänzung wäre auch eine Erhebung des Vorwissens der Schüler*innen vor der Akzeptanzbefragung und eine erneute Befragung nach dem Gespräch. So könnte der Beitrag der Aufgabenstellungen zum physikalischen Verständnis zusätzlich überprüft werden. Zur Interessenserhebung wäre, wie bereits erwähnt, eine schriftliche Befragung aussagekräftiger.

Wollte man also (bio-)physikalische Aufgabenstellungen mithilfe der Methode der Akzeptanzbefragung hinsichtlich der gewählten Forschungsfragen genauer untersuchen, könnten diese Ergänzungen sinnvoll sein.

Vor allem die erstellte Aufgabenstellung „Elektronik der Nervenzelle“ könnte außerdem noch deutlich erweitert werden, indem auf den aktiven Zustand der Nervenzelle (und dessen physikalische Hintergründe) genauer eingegangen wird und die Reizweiterleitung zum Gehirn thematisiert wird.

Hinsichtlich der Entwicklung biophysikalischer Aufgabenstellungen herrscht mit Sicherheit noch ein großer Entwicklungsbedarf, da es für den Lehrer*innenalltag eine Unterstützung darstellt, wenn auf Unterrichtsmaterialien zurückgegriffen werden kann. Vor allem im biophysikalischen Bereich bleibt es oft der Lehrperson selbst überlassen, sich einerseits die Expertise anzueignen und andererseits geeignete Aufgabenstellungen zu entwickeln. Es herrscht auch noch Forschungsbedarf, wie biophysikalische Aufgabenstellungen gut in den Physikunterricht eingegliedert werden können.

LITERATURVERZEICHNIS

Apolin, M. (2017): big bang 3. Physik. Wien: öbv.

Auzinger K., & Oswald, F. (2002): Begabtenförderung als „Enrichment“ und „Acceleration“/ „Akzeleration“. Journal für Begabtenförderung Nr. 2/2002, S. 61-64.

Behle, J. & Wilhelm, T. (o. J): Schülervorstellungen zur Energie im Wandel der Zeit. Online-Zugriff: http://www.thomas-wilhelm.net/veroeffentlichung/SV_Energie.pdf (20.8.2020).

Bellardts, D. u.a. (o.J.): Aufgaben im Physikunterricht. Online-Zugriff: <https://docplayer.org/24139219-Aufgaben-im-physikunterricht.html> (26.1.2021).

Benbow, C. P. & Lubinski, D. (1993): Individual Differences Amongst the Mathematically Gifted. Their Educational und Vocational Implications. Proceedings from 1993. Henry B. & Jocelyn Wallance National Research Symposiom on Talent Development. Dayton: Ohio Psychological Press.

Berger, R. (2002): Einfluss kontextorientierten Physikunterrichts auf Interesse und Leistung in der Sekundarstufe II. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften. Jg. 8, 2002, S. 119-132.

Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Forschung (2018). Online-Zugriff: <https://www.bmbwf.gv.at/Themen/schule/schulpraxis/pwi/wb/olympiaden.html> (11.8.2020).

Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort (2020): Gesamte Rechtsvorschrift für Lehrpläne - allgemein bildende höhere Schulen. Online-Zugriff: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568> (17.8.2020).

Burger, J. (2001): Schülervorstellungen zu „Energie im biologischen Kontext“. Ermittlungen-Analysen und Schlussfolgerungen. Dissertation an der Universität Bielefeld. Online-Zugriff: <https://d-nb.info/964842416/34> (20.8.2020).

Colicchia, G. (2002): Physikunterricht im Kontext von Physik und Biologie. Entwicklung und Erprobung von Unterrichtseinheiten zur Steigerung des Interesses und für den fachübergreifenden Physikunterricht. Ludwig-Maximilian-Universität: München (Dissertation).

Duit, R. & Mikelskis-Seifert, S. (2007): Kontextorientierter Unterricht. Wie man es einbettet, so wird es gelernt. Unterricht Physik, Nr. 98, S. 4-8.

Duit, R. & Schecker, H. (2018): Schülervorstellungen zu Energie und Wärmekraftmaschinen. In: Duit, R. (Hrsg.) u.a. (2018): Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. Berlin: Springer, S. 163-183.

Euler, M. (1982): Physikunterricht - Anspruch und Realität. Frankfurt am Main: Peter Lang.

Fischler, H. & Schecker, H. (2018): Schülervorstellungen zu Teilchen und Wärme. In: Duit, R. (Hrsg.) u.a. (2018): Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. Berlin: Springer, S. 139-161.

Fritsche, Olaf: Physik für Biologen und Mediziner. Berlin/Heidelberg: Springer 2013.

Girwidz, R. & Berger, R. (2008): Physik im Alltag entdecken und verstehen. Wie Alltagsphysik im Unterricht physikalisches Interesse und Verstehen unterstützen kann. Unterricht Physik, Nr. 105/106, S. 4-7.

Hänsel, Michael (o. J): Wissenschaftliche Begabungsmodelle: Online-Zugriff: <http://www.mhaensel.de/begabungsfoerderung/begabungsmodelle.html> (10.8.2020).

Häußler, P. u.a. (1998): Naturwissenschaftsdidaktische Forschung. Perspektiven für die Unterrichtspraxis. Kiel: IPN.

Heller, K. A. (2001): Projektziele, Untersuchungsergebnisse und praktische Konsequenzen, In: Heller, K. A. (Hrsg.): Hochbegabung im Kindes- und Jugendalter, 2. Auflage, Göttingen Bern Toronto Seattle, Hogrefe-Verlag.

Henning, T. u.a. (2012): Authentische Aufgaben an der Hochschule. Motivation, selbsteingeschätztes studentisches Kompetenzerleben, Leistungsfähigkeit. Online-Zugriff: <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/386/530> (6.8.2020).

Herbst, M. u.a. (2016): Interesse an Physik- in Salzburg. Universität Salzburg. Online-Zugriff: [https://www.researchgate.net/publication/315519517 Interessensforschung Physik - die Salzburg-Studie](https://www.researchgate.net/publication/315519517_Interessensforschung_Physik_-_die_Salzburg-Studie) (24.8.2020).

Hoffmann, L. & Lehrke, M. (1986): Eine Untersuchung über Schülerinteressen in Physik und Technik. Zeitschrift für Pädagogik, 32(2), S. 189-204.

Hoffmann, L. u.a. (1997): An den Interessen von Mädchen und Jungen orientierter Physikunterricht. Kiel: IPN.

Hoffmann, L. u.a. (1998): Die IPN-Interessenstudie Physik. Kiel: IPN.

Hopf, M. & Wilhelm, T. (2018): Schülervorstellungen zum elektrischen Stromkreis. In: Duit, R. (Hrsg.) u.a. (2018): Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. Berlin: Springer, S. 115-138.

Hopf, M. & Wilhelm, T. (2018): Schülervorstellungen zu Feldern und Wellen. In: Duit, R. (Hrsg.) u.a. (2018): Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. Berlin: Springer, S. 185-208.

Jung, W. (1992): Probing Acceptance. A Technique for Investigating Learning Difficulties. In: Duit, R. u.a. (Hrsg.): Research in Physics Learning. Theoretical Issues and Empirical Studies. Proceedings of an International Workshop. Kiel: IPN, S. 278-295.

Kauertz, A. u.a. (2015): Physikaufgaben. In: Häußler, P. (Hrsg.) u.a. (2015): Physikdidaktik. Theorie und Praxis. Berlin Heidelberg: Springer. 3. Auflage, S. 451-475.

Kauertz, A. & Fischer, H. E. (2010): Standards und Physikaufgaben. In: Kircher, E., Girwidz, R., Häußler, P. (Hrsg.) (2010). Physikdidaktik. Theorie und Praxis, 2. Auflage. Berlin, Heidelberg. Springer, S. 663-688.

Klafki, W. (1963): Studien zur Bildungstheorie und Didaktik. Weinheim: Beltz.

Kircher, E. (2015): Elementarisierung und Didaktische Rekonstruktion. In: Häußler, P. (Hrsg.) u.a. (2015): Physikdidaktik. Theorie und Praxis. Berlin Heidelberg: Springer. 3. Auflage, S. 107-140.

Kircher, E. (2015): Ziele und Kompetenzen im Physikunterricht. In: Häußler, P. (Hrsg.) u.a. (2015): Physikdidaktik. Theorie und Praxis. Berlin Heidelberg: Springer. 3. Auflage, S. 75-106.

Komorek, M. & Duit, R. (2004): The teaching experiment as a powerful method to develop and evaluate teaching and learning sequences in the domain of non-linear systems. In: International Journal of Science Education 26 (5), S. 619-633.

Kubb, C. (o.J): Das Neuron. Aufbau von Nervenzellen. Online-Zugriff: <http://www.biologie-schule.de/nervenzelle-neuron.php> (2.9.2020).

Labudde, P. (2008): Naturwissenschaften vernetzen, Horizonte erweitern. Fächerübergreifender Unterricht konkret. Seelze-Velber: Kallmeyer/Klett.

Mathelitsch, L. (1992): Natur und Physik. Physik compact. Wien: Hölder-Pichler-Tempsky.

Micic, A. (2015): Kontextorientierung im Physikunterricht. Notwendigkeit, Theorie, Instruktionsdesign. Delta Phi B, S. 1-7. Online Zugriff: [http://www.physikdidaktik.info/data/_uploaded/Delta_Phi_B/2015/Micic\(2015\)Kontextorientierung%20im%20Physikunterricht_DeltaPhiB.pdf](http://www.physikdidaktik.info/data/_uploaded/Delta_Phi_B/2015/Micic(2015)Kontextorientierung%20im%20Physikunterricht_DeltaPhiB.pdf) (2.8.2020).

Mikelskis, H. F. (2006): Physikunterricht als Beitrag zur Bewältigung gesellschaftlicher Schlüsselprobleme. In: Mikelskis, H. F. (Hrsg.) (2006): Physikdidaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II. Berlin: Cornelsen, S. 11-37.

Müller, R. (2006): Kontextorientierung und Alltagsbezug. In: Mikelskis, H. F. (Hrsg.) (2006): Physikdidaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II. Berlin: Cornelsen, S. 102-119.

Müller, W. & Frings, S. (2009): Tier- & Humanphysiologie. Eine Einführung. Heidelberg: Springer, 4. überarbeitete und aktualisierte Auflage.

Muckenfuß, H. (1995): Lernen im sinnstiftenden Kontext. Entwurf einer zeitgemäßen Didaktik des Physikunterrichts. Berlin: Cornelsen.

Nentwig, P. & Waddington, D. (2005): Making it relevant. Context based learning of science. Münster: Waxmann.

Neumann, K. u.a. (2013): Towards a learning progression of Energy. In: Journal of Research in Science Teaching, Vol. 50, Nr. 2, S. 162-188.

Österreichische Physikolympiade ÖPhO (2020): Online-Zugriff:
<http://www.physikolympiade.at/die-oepho> (11.8.2020).

Oswald, F. (2002): Begabungsförderung in der Schule. Entwicklung einer begabungsförderlichen Lernkultur. Skriptum im Rahmen des ECHA-Ausbildungslehrganges. Universität Nijmegen.

Rädler u.a. (2015): Biophysik. In: Häußler, P. (Hrsg.) u.a. (2015): Physikdidaktik. Theorie und Praxis. Berlin Heidelberg: Springer. 3. Auflage, S. 601-630.

Reinhold, P. (2006): Elementarisierung und didaktische Rekonstruktion. In: Mikelskis, H. F. (Hrsg.) (2006): Physikdidaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II. Berlin: Cornelsen, S. 86-102.

Richter, A. (2000): Diagnose von Hochbegabung. In: Bergsmann, R.: Hochbegabung, eine Chance. Wien: Facultas, S. 35-47.

Runge, Bernd-Uwe (2018): Physikalisches Anfängerpraktikum der Universität Konstanz. Online-Zugriff: <https://ap.physik.uni-konstanz.de/ap-public/Anleitungen/Membranmodell.pdf> (zuletzt aufgerufen am 26.3.2020).

Sauerhering, M. (o. J): Selbstkompetenz als Basis von Lernen. Wie die Förderung von Selbstkompetenz die Entfaltung von Begabungen unterstützen kann. Online Zugriff: <https://www.nifbe.de/fachbeitraege/themenstruktur?view=item&id=675:selbstkompetenz-als-basis-von-lernen&catid=23> (10.8.2020).

Schlichting, H. J. & Rodewald, B. (1988): Von großen und kleinen Tieren. In: Praxis der Naturwissenschaften-Physik 37/5 (2), S. 1-7.

Todt, E. u.a. (1975): Interessen von Schülern der Sekundarstufe I an Problemen der Naturwissenschaften. In: Bericht über den 29. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie, Band 2.

Wegge, J. (1998): Lernmotivation, Informationsverarbeitung, Leistung. Zur Bedeutung von Zielen des Lernenden bei der Aufklärung motivationaler Leistungsunterschiede. Münster: Waxmann.

Werdenich, Dagmar: Physikalische Phänomene in der Biologie. Elektrizität in Nervenzellen. Delta Phi B 2016. Online-Zugriff: [http://www.physikdidaktik.info/data/_uploaded/Delta_Phi_B/2016/Werdenich\(2016\)Biologie_DeltaPhiB.pdf](http://www.physikdidaktik.info/data/_uploaded/Delta_Phi_B/2016/Werdenich(2016)Biologie_DeltaPhiB.pdf) (zuletzt aufgerufen am 26.3.2020).

Whitelegg, E. & Parry, M. (1999): Real life contexts for learning physics: meanings, issues and practice. Physics Education, 34 (2), S. 68-72.

Widodo, A. & Duit, R. (2004): Konstruktivistische Sichtweisen vom Lehren und Lernen und die Praxis des Physikunterrichts. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften. Jg. 10, 2004, S. 233-255.

Wiener, G. J. u.a. (2015): Can Grade-6 students understand quarks? Probing acceptance of the subatomic structure of matter with 12-year-olds. In: European Journal of Science and Mathematics Education. Vol. 3. 2015 (4), S. 313-322.

Wiesner, H. & Wodzinski, R. (1996): Akzeptanzbefragungen als Methode zur Untersuchung von Lernschwierigkeiten und Lernverläufen. In: Duit R. & Rhöneck, C. (Hrsg.): Lernen in Naturwissenschaften. Kiel: IPN, S. 250-274.

Wiesner, H. u.a. (2011): Physikdidaktik kompakt. Freising: Aulis.

Wilhelm, T. (2007): Schülervorstellungen zur Elektrizitätslehre. Online-Zugriff:
<http://www.thomas-wilhelm.net/Vortraege/Elektrizitaetslehre.pdf> (17.8.2020)

Zwioerek, S. (2006): Mädchen und Jungen im Physikunterricht. In: Mikelskis, H. F. (Hrsg.)
(2006): Physikdidaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II. Berlin: Cornelsen, S.
73-85.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Fachinteresse im Physikunterricht (Häußler 1998, S.125).....	8
Abbildung 2: Verknüpfung der drei Interessenbereiche mit den vier Interessentypen (Herbst, u.a., 2016, S. 3).....	11
Abbildung 3: Drei-Ringe-Konzept nach Renzulli (Hänsel, o. J.).....	19
Abbildung 4: Triadisches Interdependenzmodell nach Mönks (Hänsel, o.J.).....	19
Abbildung 5: Münchner Hochbegabungsmodell (Sauerhering nach Heller & Perleth o. J.)	20
Abbildung 6: Modell der Elementarisierung (Reinold, 2006, S. 86).....	23
Abbildung 7: Aufbau einer Nervenzelle (Kubb, o.J.).....	33
Abbildung 8: Abschnitt der Membran einer Nervenzelle zum Aufbau des Ruhepotentials (Fritsche, 2013, S. 61)	35
Abbildung 9: Ersatzschaltbild der Nervenzelle im Ruhezustand (Fritsche, 2013, S. 61).....	35
Abbildung 10: Abschnitt der Membran einer Nervenzelle im gereizten Zustand.....	36
Abbildung 11: Ersatzschaltbild für die Wanderung des Aktionspotentials über die Membran (Fritsche, 2013, S. 61)	37
Abbildung 12: Grafische Darstellung der minimalen elektrischen Potentialdifferenz durch S1	74
Abbildung 13: Grafische Darstellung der minimalen elektrischen Potentialdifferenz durch S3	75
Abbildung 14: Grafische Darstellung der minimalen elektrischen Potentialdifferenz durch S5	75
Abbildung 15: Grafische Darstellung der minimalen chemischen Potentialdifferenz durch S1	76
Abbildung 16: Grafische Darstellung der minimalen chemischen Potentialdifferenz durch S3.....	76

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Raster zur Didaktischen Analyse (vgl. Bartosch, 2017).....	25
Tabelle 2: Merkmale von Aufgabenstellungen (Kauertz u.a., 2015, S.461)	29
Tabelle 3: Didaktische Analyse „Elektronik der Nervenzelle“	42
Tabelle 4: Analyseraster „Elektronik der Nervenzelle“	45
Tabelle 5: Didaktische Analyse „Aus einer Maus einen Elefanten machen“	49
Tabelle 6: Analyseraster „Aus einer Maus einen Elefanten machen“	52
Tabelle 7: Übersicht zur Erprobung der Aufgabenstellung „Elektronik der Nervenzelle“	54
Tabelle 8: Übersicht Akzeptanzbefragungen	67
Tabelle 9: Schema zur Auswertung der Aufgabenstellungen	68
Tabelle 10: Auswertung Teil I Nervenzelle zu Infotext 1	102
Tabelle 11: Auswertung Teil I Nervenzelle zu Infotext 2	102
Tabelle 12: Auswertung Teil II Nervenzelle	102
Tabelle 13: Auswertung Teil III Nervenzelle zu Infotext 3	103
Tabelle 14: Auswertung Teil III Nervenzelle zu Infotext 3	103
Tabelle 15: Auswertung Teil I Maus-Elefant	103
Tabelle 16: Auswertung Teil II Maus-Elefant.....	103
Tabelle 17: Auswertung Teil III Maus-Elefant	104
Tabelle 18: Aufgabenstellungen, die mehr als einmal gelb/rot bewertet wurden („Elektronik der Nervenzelle“).....	108
Tabelle 19: Aufgabenstellungen, die mehr als einmal gelb/rot bewertet wurden („Aus einer Maus einen Elefanten machen“)	111
Tabelle 20: Herausforderungen und Lernhindernisse der beiden Aufgabenstellungen.....	114
Tabelle 21: Lernendenvorstellungen	116

ANHANG

Anhang 1: Aufgabenstellung „Die Elektronik der Nervenzelle“

Die Elektronik der Nervenzelle

I Ruhezustand der Nervenzelle (1): Unsere Zellen sind mit einer wässrigen Lösung gefüllt, die geladene Teilchen (=Ionen) enthält. Einzelne Zellen sind durch **Membranen** (Lipid-Doppelschicht) voneinander abgegrenzt. Die Ionen können die Membran nicht durchqueren, außer durch Kanäle, die nur bestimmte Ionen zu bestimmten Zeiten durchlassen (vgl. Abb.1 **K⁺-Kanal** und **Na⁺-Kanal**). Die Membranen von Nervenzellen besitzen außerdem eine **Natrium-Kalium-Pumpe**, die unter Einsatz des Moleküls Adenosintriophosphat (ATP) immer jeweils zwei Kalium-Ionen (K⁺-Ionen) von außen in die Zelle transportiert und gleichzeitig drei Natrium-Ionen (Na⁺-Ionen) von innen nach außen befördert. Der Kalium-Kanal ist im Ruhezustand geöffnet, weswegen die Kalium-Ionen wieder aus der Zelle herauswandern können, der Natrium-Kanal ist allerdings verschlossen (vgl. roter Querbalken in der Abb.1).

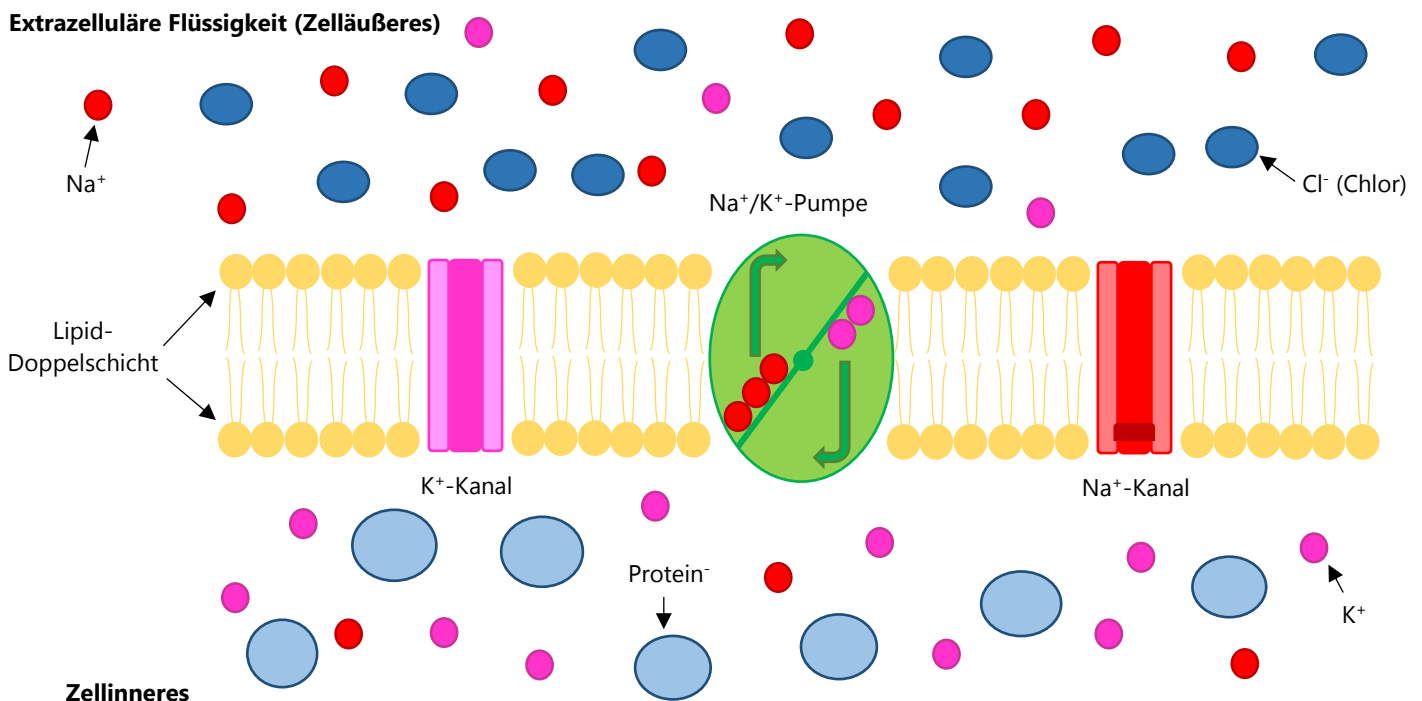


Abb. 1: Ruhezustand der Nervenzelle

- 1) Lies den Text zum „Ruhezustand der Zelle (1)“ und betrachte die Abb.1. Benenne die verschiedenen Ionen, die im Zellinneren und -äußeren auftreten und welche Ladung sie besitzen.
- 2) Beschreibe, welche Ionen wandern können und auf welche Weise!

I Ruhezustand der Nervenzelle (2):

Elektrische Potentialdifferenz: Gleichnamige Ladungen (z.B.: positiv und positiv) stoßen einander ab und ungleichnamige Ladungen (negativ und positiv) ziehen einander an. Da Ionen geladen sind, streben sie an, eine möglichst gleichmäßige Ladungsverteilung zwischen dem Zellinneren und dem Zelläußeren herzustellen. Wenn die Ladungsträger zwischen Innen- und Außenraum nicht gleichmäßig verteilt sind, dann gibt es eine Potentialdifferenz zwischen dem Zellinneren und dem Zelläußeren. Das ist gleichbedeutend mit einer elektrischen Spannung. Damit sich Ladungen bewegen, muss es eine Potentialdifferenz geben und diese ist umso größer, je mehr die Ladungsverteilung von einer gleichmäßigen Verteilung der positiven und negativen Ladungen abweicht.

Chemische Potentialdifferenz: Unabhängig von ihrer Ladung streben die verschiedenen Ionen außerdem an, sich gleichmäßig zwischen Innen- und Außenraum zu verteilen.

- 3) Lies den Text zum „Ruhezustand der Zelle (2)“ und stelle grafisch eine Möglichkeit dar, wie eine minimale elektrische Potentialdifferenz der Ionen zwischen Innen- und Außenraum der Zelle aussehen könnte!

- 4) Stelle grafisch eine Möglichkeit dar, wie eine minimale chemische Potentialdifferenz der Ionen zwischen Innen- und Außenraum der Zelle aussehen könnte!

- 5) Argumentiere, was dafür und was dagegen spricht, dass die K^+ -Ionen den Kalium-Kanal nutzen, um zurück in den Außenraum der Zelle zu wandern!

- 6) Wenn sich die chemische und elektrische Potentialdifferenz im Gleichgewicht befinden, entsteht zwischen Innen- und Außenraum der Zelle eine Potentialdifferenz von -70 mV. Was lässt sich hinsichtlich dieser Potentialdifferenz in Bezug auf die Ladungsverteilung sagen?

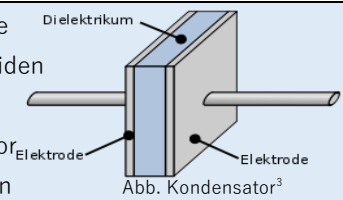
II Zelle empfängt Reiz:

- 1) Wenn die Nervenzelle ein Signal (z.B.: Sehzelle empfängt Lichtstrahl) erhält, das den Schwellenwert (-40 mV) überschreitet, öffnen sich die zuvor verschlossenen spannungsabhängigen Natrium-Kanäle. Wie werden sich die Na^+ -Ionen hinsichtlich der chemischen bzw. elektrischen Potentialdifferenz verhalten?

- 2) Stelle eine Vermutung an, wie sich der numerische Wert der Potentialdifferenz zwischen Innen- und Außenraum verändern wird, wenn die Zelle einen Reiz empfängt!

III Experiment:

Der Kondensator: Ein Kondensator besteht aus zwei Platten (Elektroden), die durch eine isolierende Schicht (Dielektrikum) getrennt sind. Zwischen den beiden Platten gibt es zu Beginn keine Potentialdifferenz, weil die Platten ungeladen sind. Schließt man eine Gleichspannungsquelle an den Kondensator an, so erhält der Leiter, der mit dem Minuspol der Spannungsquelle verbunden ist, einen Überschuss an negativen Ladungsträgern. Es entsteht somit eine Potentialdifferenz zwischen den beiden Leitern. Der Kondensator lädt sich auf. Die Potentialdifferenz bleibt auch erhalten, wenn die Spannungsquelle wieder entfernt wird. Der Kondensator speichert daher elektrischer Ladung. Ein geladener Kondensator dient in einem geschlossenen Stromkreis als Spannungsquelle und entlädt sich, bis die Potentialdifferenz zwischen den beiden Leitern wieder Null beträgt. Das Schaltsymbol des Kondensators sind zwei parallele Linien: –||



- 1) Lies den Infotext „Der Kondensator“ und ordne die folgenden Bestandteile der Nervenzelle elektronischen Bauteilen zu (Mehrfachzuordnungen sind durch Zahlen gekennzeichnet):

Zellmembran(2)	Spannungsquelle(2)
Natrium-Kalium-Pumpe	Kondensator
Kaliumkanäle	Widerstand

- 2) Stelle das Erreichen des Ruhezustands und den aktiven Zustand der Zelle jeweils mithilfe eines Schaltplanes dar! *Hinweis: Auch wenn die Spannung und der Widerstand der Nervenzelle durch verschiedene Komponenten realisiert werden, kann sich im Experiment auf eine Spannungsquelle bzw. einen Widerstand beschränkt werden.*

Führe nun das Experiment durch:

- 3) Baue die elektronische Schaltung, die das Erreichen des Ruhezustands darstellt, gemäß deines Schaltplanes auf. Du erhältst einen Kondensator (1000 μ F) und einen Widerstand (Glühlampe 12 V/0,1 A). Lege 10 V Gleichspannung an. Beschreibe, was beim Erreichen des Ruhezustands passiert!
- 4) Verändere nach kurzer Zeit deinen Schaltkreis, sodass er der Zelle im aktiven Zustand entspricht. Beschreibe, was im aktiven Zustand passiert!

³ Quelle: Wikipedia: [https://de.wikipedia.org/wiki/Kondensator_\(Elektrotechnik\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Kondensator_(Elektrotechnik)) Online-Zugriff am 12.6.2020.

- 5) a) Erkläre, wie sich die Prozesse in der Nervenzelle verändern würden, wenn ein Kondensator (Zellmembran) mit einer großen bzw. kleinen Kapazität eingesetzt wird!

b) Erkläre, wie sich die Prozesse in der Nervenzelle verändern würden, wenn ein großer bzw. kleiner Widerstand (Zellmembran) eingesetzt wird!

Die Kapazität C: Die Kapazität C gibt an, wie viel Ladung ein Kondensator bei vorgegebener Spannung speichern kann. Die Einheit der Kapazität ist Farad (F). Die Kapazität C von Biomembranen kann mit der folgenden Formel berechnet werden: $C = \frac{\epsilon_{rel} \cdot \epsilon_0 \cdot A}{d}$. Dabei ist ϵ_{rel} die Dielektrizitätszahl von Biomembranen, ϵ_0 die elektrische Feldkonstante mit rund $8,9 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm}$, A der Flächeninhalt und d der Abstand zwischen den beiden Platten.

- 6) Lies den Infotext „Die Kapazität“ und berechne die Kapazität der gegebenen Zellmembran! Die Membran einer Nervenzelle im Rückenmark besitzt eine Länge l von ca. 1 m. Die Membran selbst ist wie ein Hohlzylinder mit einem Radius r von 10^{-5} m aufgebaut. Die Dicke d (=Plattenabstand der Membran) beträgt $5 \cdot 10^{-9}$ m. Die Dielektrizitätszahl für Biomembranen ϵ_{rel} beträgt 3.

- 7) a) Wie groß ist der Betrag der elektrischen Feldstärke der Membran, wenn die Spannung $U=0,1$ V beträgt und sich das elektrische Feld mit der Formel $E = \frac{U}{d}$ berechnen lässt?
Hinweis: Die Elektrische Feldstärke beschreibt, wie stark das Feld ist, d.h., wie groß die Kraft auf einen Ladungsträger im elektrischen Feld ist.

b) Wie verhält sich dein Ergebnis zur elektrischen Feldstärke, die bei einem Gewitter für einen Blitz erforderlich ist ($3.000.000$ V/m)? Stufe die elektrische Feldstärke der Membran zwischen sehr klein und sehr groß ein!

- 8) Denkaufgabe: Pfeilgiftfrösche scheiden über ihre Hautdrüsen hochgiftige Batrachotoxine aus. Für den Menschen sind schon wenige Milligramm des Gifts tödlich, da es die Membranspannung abbaut, mit denen die Herz- und Atemmuskulatur gesteuert wird. Ziehe mithilfe deiner gewonnen Informationen Schlüsse, wie der Wirkmechanismus des Gifts funktioniert!

Anhang 2: Lösungsvorschlag der Aufgabenstellung „Die Elektronik der Nervenzelle“

Die Elektronik der Nervenzelle (Lösungsvorschlag)

I Ruhezustand der Nervenzelle (1): Unsere Zellen sind mit einer wässrigen Lösung gefüllt, die geladene Teilchen (=Ionen) enthält. Einzelne Zellen sind durch **Membranen** (Lipid-Doppelschicht) voneinander abgegrenzt. Die Ionen können die Membran nicht durchqueren, außer durch Kanäle, die nur bestimmte Ionen zu bestimmten Zeiten durchlassen (vgl. Abb.1 **K⁺-Kanal** und **Na⁺-Kanal**). Die Membranen von Nervenzellen besitzen außerdem eine **Natrium-Kalium-Pumpe**, die unter Einsatz des Moleküls Adenosintriophosphat (ATP) immer jeweils zwei Kalium-Ionen (K⁺-Ionen) von außen in die Zelle transportiert und gleichzeitig drei Natrium-Ionen (Na⁺-Ionen) von innen nach außen befördert. Der Kalium-Kanal ist im Ruhezustand geöffnet, weswegen die Kalium-Ionen wieder aus der Zelle herauswandern können, der Natrium-Kanal ist allerdings verschlossen (vgl. roter Querbalken in der Abb.1).

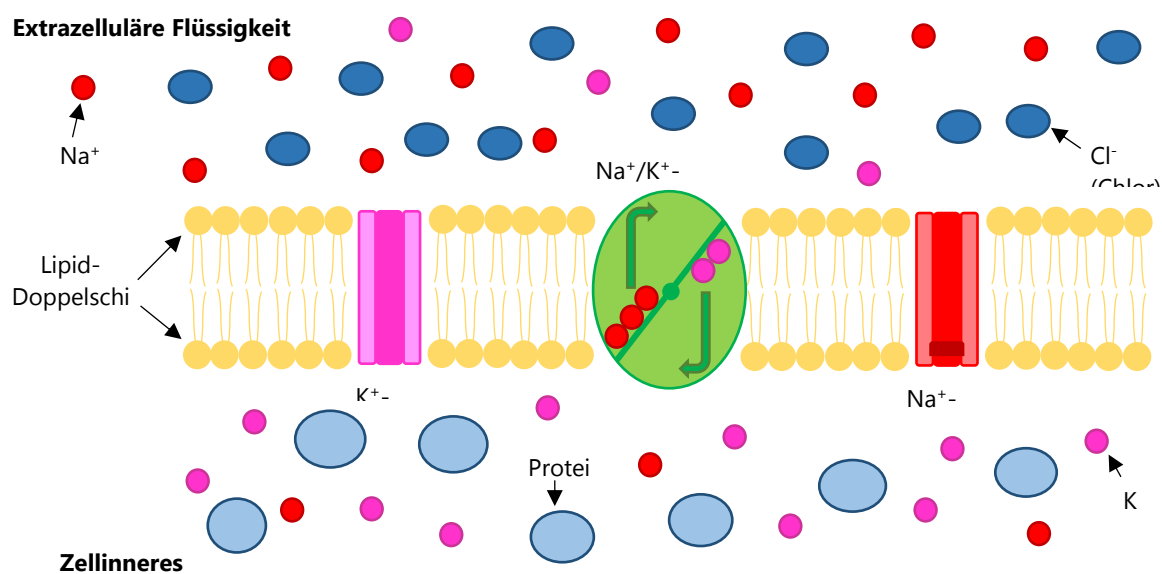


Abb. 1: Ruhezustand der Nervenzelle

- 1) Lies den Text zum „Ruhezustand der Zelle (1)“ und betrachte die Abb.1. Benenne die verschiedenen Ionen, die im Zellinneren und –äußeren auftreten und welche Ladung sie besitzen. (W)

Zellinneres: Proteine (negativ geladen); viele Kalium-Ionen (positiv geladen); wenige Natrium-Ionen (positiv geladen)

Zelläußeres: Chlor-Ionen (negativ geladen); viele Natrium-Ionen (positiv geladen); wenige Kalium-Ionen (positiv geladen)

- 2) Beschreibe, welche Ionen wandern können und auf welche Weise! (W)

Die Kalium-Ionen können durch den Kalium Kanal wandern. Die Natrium-Kalium-Pumpe befördert jeweils zwei Kalium-Ionen von außen nach innen und drei Natrium-Ionen von innen nach außen.

I Ruhezustand der Nervenzelle (2):

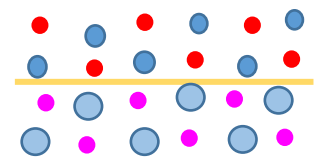
Elektrische Potentialdifferenz: Gleichnamige Ladungen (z.B.: positiv und positiv) stoßen einander ab und ungleichnamige Ladungen (negativ und positiv) ziehen einander an. Da Ionen geladen sind, streben sie an, eine möglichst gleichmäßige Ladungsverteilung zwischen dem Zellinneren und dem Zelläußeren herzustellen. Wenn die Ladungsträger zwischen Innen- und Außenraum nicht gleichmäßig verteilt sind, dann gibt es eine Potentialdifferenz zwischen dem Zellinneren und dem Zelläußeren. Das ist gleichbedeutend mit einer elektrischen Spannung. Damit sich Ladungen bewegen, muss es eine Potentialdifferenz geben und diese ist umso größer, je mehr der die Ladungsverteilung von einer gleichmäßigen Verteilung der positiven und negativen Ladungen abweicht.

Chemische Potentialdifferenz: Unabhängig von ihrer Ladung streben die verschiedenen Ionen außerdem an, sich gleichmäßig zwischen Innen- und Außenraum zu verteilen.

- 3) Lies den Text zum „Ruhezustand der Zelle (2)“ und stelle grafisch eine Möglichkeit dar, wie eine minimale elektrische Potentialdifferenz der Ionen zwischen Innen- und Außenraum der Zelle aussehen könnte! **(W)**

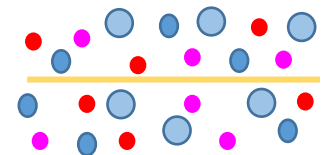
Eine mögliche Ladungsverteilung könnte folgendermaßen aussehen:

Die Proteine und Kalium-Ionen befinden sich alle im Zellinneren und sind hier gleichmäßig verteilt. Die Chlor- und Natrium-Ionen befinden sich im Zelläußeren und sind ebenfalls gleichmäßig verteilt. So sind im Innen- und Außenraum der Zelle jeweils gleich viele positive wie negative Ladungsträger und diese auch gleichmäßig über den Raum verteilt.



- 4) Stelle grafisch eine Möglichkeit dar, wie eine minimale chemische Potentialdifferenz der Ionen zwischen Innen- und Außenraum der Zelle aussehen könnte! **(W)**

Die verschiedenen Teilchen sind innen und außen gleichmäßig verteilt (gleich viele von jeder Sorte).



- 5) Argumentiere, was dafür und was dagegen spricht, dass die K^+ -Ionen den Kalium-Kanal nutzen, um zurück in den Außenraum der Zelle zu wandern! **(S)**

Wenn die Kalium-Ionen nach außen wandern, vergrößert sich die elektrische Potentialdifferenz, da das Zellinnere durch die Natrium-Kalium-Pumpe, die mehr positive geladene Ionen nach außen transportiert, ohnehin schon für einen Überschuss an negativ geladenen Teilchen sorgt. Das spricht also gegen das Wandern der Kalium-Ionen nach außen.

Wenn die Kalium-Ionen nach außen wandern, verkleinert sich die chemische Potentialdifferenz, da im Zellinneren viel mehr Kalium-Ionen als Natrium-Ionen sind und die Natrium-Kalium-Pumpe regelmäßig wieder Kalium-Ionen in die Zelle befördert. Das spricht also für das Wandern der Kalium-Ionen nach außen.

- 6) Wenn sich die chemische und elektrische Potentialdifferenz im Gleichgewicht befinden, entsteht zwischen Innen- und Außenraum der Zelle eine Potentialdifferenz von -70 mV . Was lässt sich hinsichtlich dieser Potentialdifferenz in Bezug auf die Ladungsverteilung sagen? **(W)**

Da mehr positive Ladungen durch die Natrium-Kalium Pumpe nach außen transportiert werden und die positiv geladenen Kalium-Ionen zusätzlich zurückwandern, bis sich die chemische und die elektrische Potentialdifferenz im Gleichgewicht befinden, befindet sich im Inneren der Zelle ein negativer Ladungsüberschuss. Daher kommt auch das negative Vorzeichen.

II Zelle empfängt Reiz:

- 1) Wenn die Nervenzelle ein Signal (z.B.: Sehzelle empfängt Lichtstrahl) erhält, das den Schwellenwert (-40 mV) überschreitet, öffnen sich die zuvor verschlossenen spannungsabhängigen Natrium-Kanäle. Wie werden sich die Na^+ -Ionen hinsichtlich der chemischen bzw. elektrischen Potentialdifferenz verhalten? **(W)**

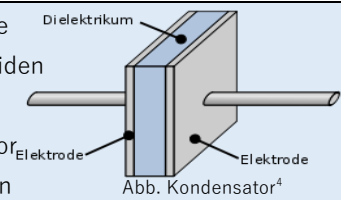
Aufgrund der elektrischen Potentialdifferenz (negativer Ladungsüberschuss im Inneren) werden die positiv geladenen Natrium-Ionen, den Kanal nutzen, um von außen nach innen zu wandern. Da sich im Zellinneren viel mehr Kalium- als Natrium-Ionen befinden, werden sie auch aufgrund der chemischen Potentialdifferenz von außen nach innen wandern.

- 2) Stelle eine Vermutung an, wie sich der numerische Wert der Potentialdifferenz zwischen Innen- und Außenraum verändern wird, wenn die Zelle einen Reiz empfängt! **(E)**

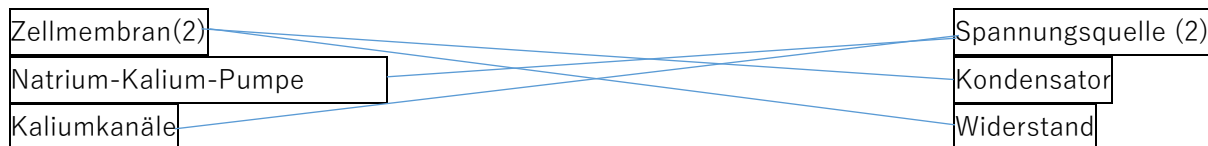
Die Potentialdifferenz zwischen Innen- und Außenraum wird sich verringern → ist im Ruhezustand größer als im gereizten Zustand.

III Experiment:

Der Kondensator: Ein Kondensator besteht aus zwei Platten (Elektroden), die durch eine isolierende Schicht (Dielektrikum) getrennt sind. Zwischen den beiden Platten gibt es zu Beginn keine Potentialdifferenz, weil die Platten ungeladen sind. Schließt man eine Gleichspannungsquelle an den Kondensator an, so erhält der Leiter, der mit dem Minuspol der Spannungsquelle verbunden ist, einen Überschuss an negativen Ladungsträgern. Es entsteht somit eine Potentialdifferenz zwischen den beiden Leitern. Der Kondensator lädt sich auf. Die Potentialdifferenz bleibt auch erhalten, wenn die Spannungsquelle wieder entfernt wird. Der Kondensator speichert daher elektrischer Ladung. Ein geladener Kondensator dient in einem geschlossenen Stromkreis als Spannungsquelle und entlädt sich, bis die Potentialdifferenz zwischen den beiden Leitern wieder Null beträgt. Das Schaltsymbol des Kondensators sind zwei parallele Linien: –||–

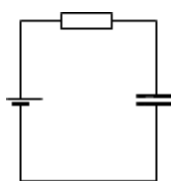


- 1) Lies den Infotext „Der Kondensator“ und ordne die folgenden Bestandteile der Nervenzelle elektronischen Bauteilen zu (Mehrfachzuordnungen sind durch Zahlen gekennzeichnet): **(W)**

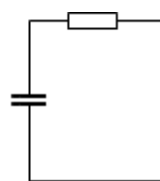


- 2) Stelle das Erreichen des Ruhezustands und den aktiven Zustand der Zelle jeweils mithilfe eines Schaltplanes dar! **(W)**

Hinweis: Auch wenn die Spannung und der Widerstand der Nervenzelle durch verschiedene Komponenten realisiert werden, kann sich im Experiment auf eine Spannungsquelle bzw. einen Widerstand beschränkt werden.



Erreichen des Ruhezustands



aktiver Zustand

⁴ Quelle: Wikipedia: [https://de.wikipedia.org/wiki/Kondensator_\(Elektrotechnik\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Kondensator_(Elektrotechnik)) Online-Zugriff am 12.6.2020.

Führe nun das Experiment durch:

- 3) Baue die elektronische Schaltung, die das Erreichen des Ruhezustands darstellt, gemäß deines Schaltplanes auf. Du erhältst einen Kondensator ($1000\ \mu\text{F}$) und einen Widerstand (Glühlampe $12\ \text{V}/0,1\ \text{A}$). Lege $10\ \text{V}$ Gleichspannung an. Beschreibe, was beim Erreichen des Ruhezustands passiert! **(E)**

Im Ruhezustand wird der Kondensator von der Gleichspannungsquelle geladen. Das Lämpchen leuchtet nur kurz auf (=kurzer Stromstoß, der den Kondensator lädt).

- 4) Verändere nach kurzer Zeit deinen Schaltkreis, sodass er der Zelle im aktiven Zustand entspricht. Beschreibe, was im aktiven Zustand passiert! **(E)**

Das Lämpchen leuchtet wieder kurz auf (Der Kondensator wird durch einen Stromstoß entladen).

- 5) a) Erkläre, wie sich die Prozesse in der Nervenzelle verändern würden, wenn ein Kondensator (Zellmembran) mit einer großen bzw. kleinen Kapazität eingesetzt wird! **(E)**

Im Ruhezustand sorgt der Kondensator (=Zellmembran) dafür, dass die Potentialdifferenz von $-70\ \text{mV}$ zwischen Innen- und Außenraum der Zelle erhalten bleibt, die durch die Spannungsquellen aufgebaut wird (=Speicherfunktion). Im aktiven Zustand entlädt sich der Kondensator und die Potentialdifferenz zwischen Innen- und Außenraum verringert sich. So kann ein Signal erkannt und weitergeleitet werden. Eine große Kapazität sorgt dafür, dass mehr elektrische Energie gespeichert werden kann, welche dann im aktiven Zustand in Bewegungsenergie der Ionen umgewandelt werden kann.

- b) Erkläre, wie sich die Prozesse in der Nervenzelle verändern würden, wenn ein großer bzw. kleiner Widerstand (Zellmembran) eingesetzt wird!

Die verschiedenen Widerstände sorgen dafür, dass sich die Potentialdifferenz zwischen Innen- und Außenraum nicht sofort wieder ausgleicht. Ohne Widerstand würden sich die Ladungsträger fast augenblicklich (großer Stromfluss) ausgleichen. Ein eingehendes Signal könnte nicht erkannt und weitergeleitet werden. Je größer der Widerstand ist, desto weniger Elektronen können sich zwischen Innen- und Außenraum pro Zeiteinheit bewegen.

Die Kapazität C: Die Kapazität C gibt an, wie viel Ladung ein Kondensator bei vorgegebener Spannung speichern kann. Die Einheit der Kapazität ist Farad (F). Die Kapazität C von Biomembranen kann mit der folgenden Formel berechnet werden: $C = \frac{\epsilon_{rel} \cdot \epsilon_0 \cdot A}{d}$. Dabei ist ϵ_{rel} die Dielektrizitätszahl von Biomembranen, ϵ_0 die elektrische Feldkonstante mit rund $8,9 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm}$, A der Flächeninhalt und d der Abstand zwischen den beiden Platten.

- 6) Lies den Infotext „Die Kapazität“ und berechne die Kapazität der gegebenen Zellmembran! Die Membran einer Nervenzelle im Rückenmark besitzt eine Länge l von ca. 1 m. Die Membran selbst ist wie ein Hohlzylinder mit einem Radius r von 10^{-5} m aufgebaut. Die Dicke d (=Plattenabstand der Membran) beträgt $5 \cdot 10^{-9}$ m. Die Dielektrizitätszahl für Biomembranen ϵ_{rel} beträgt 3. **(W)**

$$C = \frac{\epsilon_{rel} \cdot \epsilon_0 \cdot A}{d} = \frac{\epsilon_{rel} \cdot \epsilon_0 \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot l}{d} = 3,35 \cdot 10^{-7} F$$

- 7) a) Wie groß ist der Betrag der elektrischen Feldstärke der Membran, wenn die Spannung $U=0,1$ V beträgt und sich das elektrische Feld mit der Formel $E = \frac{U}{d}$ berechnen lässt?
Hinweis: Die Elektrische Feldstärke beschreibt, wie stark das Feld ist, d.h., wie groß die Kraft auf einen Ladungsträger im elektrischen Feld ist. **(W)**

$$E = \frac{U}{d} = \frac{0,1 V}{5 \cdot 10^{-9} m} = 20.000.000 \frac{V}{m}$$

- b) Wie verhält sich dein Ergebnis zur elektrischen Feldstärke, die bei einem Gewitter für einen Blitz erforderlich ist ($3.000.000$ V/m)? Stufe die elektrische Feldstärke der Membran zwischen sehr klein und sehr groß ein! **(S)**

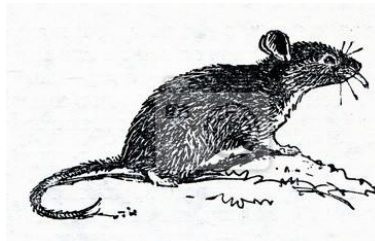
Die Feldstärke der Zellmembran ist mehr als das 6-fache als bei einem Blitz und somit sehr groß.

- 8) Denkaufgabe: Pfeilgiftfrösche scheiden über ihre Hautdrüsen hochgiftige Batrachotoxine aus. Für den Menschen sind schon wenige Milligramm des Gifts tödlich, da es die Membranspannung abbaut, mit denen die Herz- und Atemmuskulatur gesteuert wird. Ziehe mithilfe deiner gewonnen Informationen Schlüsse, wie der Wirkmechanismus des Gifts funktioniert! **(W, S)**

Im Verlauf der vorangehenden Aufgaben wurde erarbeitet, dass die Potentialdifferenz an der Zellmembran Voraussetzung dafür ist, dass ein Signal erkannt und weitergeleitet werden kann. Nur durch die Potentialdifferenz im Ruhezustand kann eine Veränderung der Differenz (durch ein Signal) erst erkannt werden. Das Gift des Frosches zerstört die Membranspannung und verhindert so, dass die Organe arbeiten können.

Anhang 3: Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“

AUFGABENSTELLUNG: „Aus einer Maus einen Elefanten machen“



Teil I: Stoffwechselintensitäten verschiedener Tiere:

Infotext Stoffwechselintensität: Säugetiere haben das ganze Jahr über eine annähernd konstante Körpertemperatur von ca. 37 ° C. Sowohl die Maus als das kleinste an Land lebende Säugetier als auch der Elefant als das größte an Land lebende Säugetier schaffen es also, diese Körpertemperatur aufrecht zu erhalten. Dafür wird Energie benötigt, die im Wesentlichen über die Nahrung aufgenommen wird. Die Stoffwechselintensität P eines Tieres gibt an, wie viel Energie pro Zeiteinheit in Form von Nahrung aufgenommen wird. Durch Vergleich verschiedener Tiere hat sich ergeben, dass die Stoffwechselintensität P proportional zu $m^{3/4}$ ist ($P \sim m^{3/4}$).

- 1) Die Maus ist mit einer Masse von $m_{\text{Maus}}=21 \text{ g}$ das kleinste lebende Säugetier. Sie besitzt eine Stoffwechselintensität von $P_{\text{Maus}}=0,17 \text{ W}$. Schätze die Stoffwechselintensität eines Elefanten P_{Elefant} mit $m_{\text{Elefant}}=4 \text{ t}$ mithilfe des gegebenen Proportionalitätsverhältnisses ab!
- 2) Verwende die unten stehende Tabelle 1, um zu überprüfen, wie genau sich die Stoffwechselintensität des Menschen P_{Mensch} mit dem obigen Verhältnis $P \sim m^{3/4}$ abschätzen lässt! Benenne die Größenordnung der Abweichung!

Tier	Masse in $m[\text{kg}]$	Stoffwechsel- intensität in $[\text{W}]$
Maus	0,021	0,17
Frosch (bei 25°C)	0,035	0,018
Ratte	0,282	1,36
Meerschweinchen	0,410	1,70
Katze	3,00	7,38
Kaninchen	4,33	9,22
Hund	6,60	13,93
Schimpanse	38,00	52,82
Schaf	46,40	60,78
Mensch	70,00	80,00
Kuh	600,00	384,00

Tabelle 1: Stoffwechselintensitäten einiger Tiere⁵

⁵ Kleiber 1967, S. 175.

Teil II: Grundumsätze verschiedener Tiere:

Infotext Grundumsatz: Der Grundumsatz ist diejenige Wärmemenge (in Kilojoule), die von einem Körper in völlig nüchternem Zustand bei absoluter Ruhe innerhalb von 24 Stunden benötigt wird. Für einen 70 kg schweren Menschen beträgt er ca. 7000 kJ.

- 3) Der Grundumsatz der Maus ist pro Gramm Körpergewicht 65-mal höher als der des Menschen und 200-mal höher als der des Elefanten. Berechne sowohl den Grundumsatz der Maus als auch den des Elefanten!

- 4) Elefanten ernähren sich hauptsächlich von Gräsern. 1 kg Gras enthält eine Energiemenge von 6 MJ. Berechne, wie viele kg Gras ein Elefant fressen müsste, um seinen Grundumsatz zu decken? (Wir nehmen an, dass der Elefant die Energiemenge, die das Gras bereitstellt, vollständig verwerten kann.)

- 5) Berechne, wie viele kg Nahrung der Elefant zu sich nehmen müsste, wenn sein Grundumsatz pro Gramm Körpergewicht so hoch wäre wie der der Maus?

- 6) Ziehe aus deinen bisherigen Ergebnissen Schlüsse, wie sich auf Basis der bisherigen Aufgaben die Stoffwechselintensität bzw. der Grundumsatz bei kleinen Tieren (wie der Maus) von denen bei großen Tieren (wie dem Elefanten) unterscheiden?

Teil III: Das Verhältnis zwischen Körperoberfläche und Volumen verschiedener Tiere:

- 7) Der Durchmesser des Körpers einer 21 g schweren Maus beträgt ca. 3,4 cm.⁶ Berechne näherungsweise die Körperoberfläche und das Volumen der Maus, wenn der Körper der Maus als rund angenommen wird!
- 8) Begründe nun: Wenn der Durchmesser eines Elefanten 3,4 m betragen würde, um das Wievielfache würde sich die Oberfläche bzw. das Volumen des Elefanten vergrößern?
- 9) „Aus statischen Gründen benötigen große Tiere ein wesentlich stabileres Skelett als kleine Tiere.“⁷ Bei der Maus macht das Skelett 5 % ihrer Masse aus beim Elefanten 30% seiner Masse. Erläutere, wie diese Informationen mit dem geringeren Grundumsatz bzw. der geringeren Stoffwechselintensität des Elefanten zusammenhängen könnten?

⁶<https://www.humane-endpoints.info/de/maus/physiologische-parameter> (Online-Zugriff am 22.6.2020).

⁷https://books.google.at/books?id=MoQkBgAAQBAJ&pg=PA67&lpg=PA67&dq=knochenbau+maus+elefant&source=bl&ots=ooEHq1BW4z&sig=ACfU3U1T1RIRk6PmCMPkkTAR7_6t0Mwkbw&hl=de&sa=X&ved=2ahUKewi_7seq2_rhAhWQ_CoKHSowCpgQ6AEwEHoECACQAQ#v=onepage&q=knochenbau%20maus%20elefant&f=false (Online-Zugriff am 22.6.2020).

Anhang 4: Lösungsvorschlag der Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“

AUFGABENSTELLUNG: „Aus einer Maus einen Elefanten machen“ (Lösungsvorschlag)



Infotext Stoffwechselintensität: Säugetiere haben das ganze Jahr über eine annähernd konstante Körpertemperatur von ca. 37 ° C. Sowohl die Maus als das kleinste an Land lebende Säugetier als auch der Elefant als das größte an Land lebende Säugetier schaffen es also, diese Körpertemperatur aufrecht zu erhalten. Dafür wird Energie benötigt, die im Wesentlichen über die Nahrung aufgenommen wird. Die Stoffwechselintensität P eines Tieres gibt an, wie viel Energie pro Zeiteinheit in Form von Nahrung aufgenommen wird. Durch Vergleich verschiedener Tiere hat sich ergeben, dass die Stoffwechselintensität P proportional zu $m^{3/4}$ ist ($P \sim m^{3/4}$).

- 1) Die Maus ist mit einer Masse von $m_{\text{Maus}} = 21 \text{ g}$ das kleinste lebende Säugetier. Sie besitzt eine Stoffwechselintensität von $P_{\text{Maus}} = 0,17 \text{ W}$. Schätze die Stoffwechselintensität eines Elefanten P_{Elefant} mit $m_{\text{Elefant}} = 4 \text{ t}$ mithilfe des gegebenen Proportionalitätsverhältnisses ab! **(W)**

$$P_{\text{Maus}}/m_{\text{Maus}}^{3/4} = P_{\text{Elefant}}/m_{\text{Elefant}}^{3/4} \rightarrow P_{\text{Elefant}} = P_{\text{Maus}}/m_{\text{Maus}}^{3/4} * m_{\text{Elefant}}^{3/4} = \underline{1550 \text{ W}}$$

- 2) Verwende die unten stehende Tabelle 1, um zu überprüfen, wie genau sich die Stoffwechselintensität des Menschen P_{Mensch} mit dem obigen Verhältnis $P \sim m^{3/4}$ abschätzen lässt! Benenne die Größenordnung der Abweichung! **(E)**

Tier	Masse in $m[\text{kg}]$	Stoffwechsel- intensität in $[\text{W}]$
Maus	0,021	0,17
Frosch (bei 25°C)	0,035	0,018
Ratte	0,282	1,36
Meerschweinchen	0,410	1,70
Katze	3,00	7,38
Kaninchen	4,33	9,22
Hund	6,60	13,93
Schimpanse	38,00	52,82
Schaf	46,40	60,78
Mensch	70,00	80,00
Kuh	600,00	384,00

Tabelle 1: Stoffwechselintensitäten einiger Tiere⁸

$$P_{\text{Mensch}} = P_{\text{Maus}}/m_{\text{Maus}}^{3/4} * m_{\text{Mensch}}^{3/4} = \underline{75 \text{ W}}$$

Die Abweichung bei der Abschätzung durch das Proportionalitätsverhältnis liegt im Einerbereich (10^0).

⁸ Kleiber 1967, S. 175.

Infotext Grundumsatz: Der Grundumsatz ist diejenige Wärmemenge (in Kilojoule), die von einem Körper in völlig nüchternem Zustand bei absoluter Ruhe innerhalb von 24 Stunden benötigt wird. Für einen 70 kg schweren Menschen beträgt er ca. 7000 kJ.

- 3) Der Grundumsatz der Maus ist pro Gramm Körpergewicht 65-mal höher als der des Menschen und 200-mal höher als der des Elefanten. Berechne sowohl den Grundumsatz der Maus als auch den des Elefanten! **(W)**

7000 kJ/70000 g → Ein Mensch benötigt = 0,1 kJ Energie pro Gramm Körpergewicht

- Eine Maus benötigt pro Gramm Körpergewicht 6,5 kJ und somit bei einem Körpergewicht von ca. 20 g
→ $6,5 \text{ kJ} \cdot 20 = 130 \text{ kJ}$ → Grundumsatz Maus = 130 kJ
- Ein Elefant benötigt pro Gramm Körpergewicht $6,5 \text{ kJ} / 200 = 0,033 \text{ kJ}$. $m_{\text{Elefant}} = 4 \text{ t}$, daher 130000 kJ Grundumsatz

- 4) Elefanten ernähren sich hauptsächlich von Gräsern. 1 kg Gras enthält eine Energiemenge von 6 MJ. Berechne, wie viele kg Gras ein Elefant fressen müsste, um seinen Grundumsatz zu decken? (Wir nehmen an, dass der Elefant die Energiemenge, die das Gras bereitstellt, vollständig verwerten kann.) **(W)**

$130000 \text{ kJ} / 6000 \text{ kJ} = \underline{22 \text{ kg}}$

- 5) Berechne, wie viele kg Nahrung der Elefant zu sich nehmen müsste, wenn sein Grundumsatz pro Gramm Körpergewicht so hoch wäre wie der der Maus? **(W)**

$6,5 \text{ kJ} \cdot 4000000 \text{ g} = \underline{26\,000\,000 \text{ kJ}}$ Grundumsatz
 $26\,000\,000 \text{ kJ} / 6000 \text{ kJ} = \underline{4333 \text{ kg}}$

- 6) Ziehe aus deinen bisherigen Ergebnissen Schlüsse, wie sich auf Basis der bisherigen Aufgaben die Stoffwechselintensität bzw. der Grundumsatz bei kleinen Tieren (wie der Maus) von denen bei großen Tieren (wie dem Elefanten unterscheiden)? **(S)**

Lösungsvorschlag: Die Stoffwechselintensität und der Grundumsatz sind bei kleinen Tieren vergleichsweise hoch. Sie müssen also im Verhältnis zu ihrem Körpergewicht um ein Vielfaches mehr Nahrung zu sich nehmen als große Tiere, um lebensfähig zu sein.

- 7) Der Durchmesser des Körpers einer 21 g schweren Maus beträgt ca. 3,4 cm⁹. Berechne näherungsweise die Körperoberfläche und das Volumen der Maus, wenn der Körper der Maus als rund angenommen wird! **(W)**

Lösung: $A=4\pi r^2=4\pi (1,7)^2=36,3 \text{ cm}^2$ $V=4/3\pi r^3=4/3\pi (1,7)^3=20,6 \text{ cm}^3$

- 8) Begründe nun: Wenn der Durchmesser eines Elefanten 3,4 m betragen würde, um das Wievielfache würde sich die Oberfläche bzw. das Volumen des Elefanten vergrößern? **(W)**

Lösung: A vergrößert sich mit r^2 , daher um das 10000-fache (10^4). V vergrößert sich mit r^3 , daher sogar um das 1000000-fache (10^6).

- 9) „Aus statischen Gründen benötigen große Tiere ein wesentlich stabileres Skelett als kleine Tiere.“¹⁰ Bei der Maus macht das Skelett 5 % ihrer Masse aus beim Elefanten 30% seiner Masse. Erläutere, wie diese Informationen mit dem geringeren Grundumsatz bzw. der geringeren Stoffwechselintensität des Elefanten zusammenhängen könnten? **(S)**

Lösungsvorschlag: Das Skelett ist im Vergleich zu anderen Teilen des Körpers (z.B.: Organe) nicht sehr stoffwechselaktiv. Somit ist der Anteil an stoffwechselaktiven Teilen des Körpers bei großen Tieren geringer als bei kleinen Tieren und dadurch auch der Grundumsatz bzw. die Stoffwechselaktivität.

⁹<https://www.humane-endpoints.info/de/maus/physiologische-parameter> (Online-Zugriff am 6.5.2019).

¹⁰https://books.google.at/books?id=MoQkBgAAQBAJ&pg=PA67&lpg=PA67&dq=knochenbau+maus+elefant&source=bl&ots=ooEHq1BW4z&sig=ACfU3U1T1RIRk6PmCMPkkTAR7_6t0Mwkbw&hl=de&sa=X&ved=2ahUKewi_7seq2_rhAhWQ_CoKHSowCpgQ6AEwEHoEAcQAQ#v=onepage&q=knochenbau%20maus%20elefant&f=false (Online-Zugriff am 6.5.2019)

Interviewleitfaden Aufgabenstellung „Elektronik der Nervenzelle“

Kennenlernen und Besprechung des Ablaufs der Befragung:

Begrüßung und Vorstellung: Hallo, ich wünsche euch einen schönen Vormittag/Nachmittag! Mein Name ist Birgit Schandl und ich bin Masterstudentin im Lehramtsstudium für Deutsch und Physik an der Universität Wien und unterrichte Physik auch schon an einer Schule.

- Möchtet ihr mir vielleicht auch ein wenig von euch erzählen (wie ihr heißt, an welche Schule ihr geht, welche Klasse, wie alt ihr seid, eure Interessen (auch Physik)...)?

Rahmenbedingungen und Ablauf: Ich möchte euch nun genauer erklären, was wir heute machen und wie es abläuft. Einiges davon wisst ihr möglicherweise auch schon aus dem Informationsschreiben, das an eure Eltern ausgegeben wurde. Ich schreibe gerade an meiner Abschlussarbeit in Physik und habe dazu Aufgabenstellungen entwickelt, die sich mit biophysikalischen Inhalten beschäftigen. Die Aufgabe, die ich heute mit euch durchgehen möchte, handelt von der Elektronik der Nervenzelle, also davon, dass unsere Nervenzellen wie elektronische Systeme funktionieren. Die Vorgänge, die ablaufen, wenn die Nervenzelle sich im Ruhezustand befindet oder wenn sie einen Reiz empfängt, können mithilfe physikalischer Vorgänge im elektronischen Schaltkreis beschrieben werden.

Ich werde die Aufgabenstellung Schritt für Schritt mit euch durchgehen und ihr könnt mir jederzeit Fragen stellen, falls meine Erklärungen oder die Aufgabenstellungen unverständlich sind oder wenn ihr manche Begriffe nicht kennt. Ich werde unser Gespräch als Audiodatei aufzeichnen. Die Auswertung unseres Gesprächs erfolgt anonym, d.h., eure Namen kommen in meiner Arbeit nicht vor. Danke, dass ihr euch dazu bereit erklärt habt, dass ich unser Gespräch zur Bearbeitung der Aufgabenstellung für meine Masterarbeit verwenden darf, das ist mir wirklich eine große Hilfe.

- Gibt es von eurer Seite noch Fragen, bevor wir mit der Aufgabenstellung beginnen?

Teil I: Ruhezustand der Nervenzelle:

- Ruhezustand der Nervenzelle (1):

Der Infotext „Ruhezustand der Nervenzelle (1)“ und die Abbildung 1 werden von der Lehrperson in eigenen Worten erläutert.

- Gibt es Fragen zu meiner Erklärung zum Ruhezustand der Nervenzelle?
- Welche Zweifel hast du an dieser Erklärung?
- Betrachte noch einmal die Abbildung. Ist die Abbildung verständlich, sodass du Informationen herauslesen kannst?

Gegebenenfalls werden Begriffe oder Prozesse ausführlicher erklärt.

- Bitte gib mir noch einmal in eigenen Worten wieder, was ich dir über den Ruhezustand der Nervenzelle erklärt habe!
- ➔ in der Erklärung sollte enthalten sein: Aufbau der Zelle, Ionen und wie sie die Zellmembran durchqueren können
- Wenn es keine weiteren Fragen gibt, lies bitte die beiden Aufgaben 1 und 2!
- Sind die Aufgabenstellungen verständlich und weißt du, was zu tun ist?

Gegebenenfalls erläutert die Lehrperson die Aufgabenstellungen.

Der/die Schüler/in bearbeitet die Aufgabenstellungen selbstständig. Falls notwendig, stellt die Lehrperson Nachfragen an oder bietet detailliertere Erklärungen an (vgl. unten).

Mögliche zusätzliche Fragen zu den Aufgabenstellungen 1-2:

- Wie ist die Häufigkeitsverteilung der verschiedenen Ladungsträger im Zellinneren bzw. Zelläußeren? **(zu A1)**
- Warum können die negativen Ladungsträger nicht wandern? **(zu A2)**

Hintergrundinformationen zu den Aufgabenstellungen 1-2 (bei Nachfragen):

- Der Natrium-Kanal ist nur im Ruhezustand verschlossen. Im gereizten Zustand öffnet er sich für 1-3 ms und lässt Natrium-Ionen durch. Der Kalium-Kanal ist im Ruhezustand immer geöffnet. Im gereizten Zustand öffnen sich die spannungsabhängigen Kalium-Kanäle erst nach 1-3 ms, wenn die Natrium-Kanäle bereits wieder verschlossen sind und stellen erneut den Ruhezustand her. **(zu A2)**
- Die negativen Ladungsträger (Chor-Ionen und Proteine) können überhaupt nicht wandern, weil ein Passieren durch die Membran nicht möglich ist und sie zu groß sind, um durch die Kanäle zu passen oder von der Natrium-Kalium-Pumpe mitgenommen werden können. **(zu A2)**

- Ruhezustand der Nervenzelle (2):

Der Infotext „Ruhezustand der Nervenzelle (2)“ wird von der Lehrperson in eigenen Worten erläutert.

- Welche Fragen hast du zu meiner Erklärung?
- Welche Zweifel hast du an dieser Erklärung?
- Bitte gib mir noch einmal in eigenen Worten wieder, was ich zur elektrischen und chemischen Potentialdifferenz gesagt habe!
- ➔ in der Erklärung sollte enthalten sein: Verhalten von Ionen zueinander (in Bezug auf die elektrische und chemische Potentialdifferenz)
- Falls du keine weiteren Fragen hast, lies bitte die zugehörigen Aufgaben 3-6!
- Ist dir klar, was bei der Bearbeitung der Aufgabenstellungen zu tun ist?

Gegebenenfalls erläutert die Lehrperson die Aufgabenstellungen.

Der/die Schüler/in bearbeitet die Aufgabenstellungen selbstständig. Falls notwendig, stellt die Lehrperson Nachfragen an oder bietet detailliertere Erklärungen an (vgl. unten).

Mögliche zusätzliche Fragen zu den Aufgabenstellungen 3-6:

- Was verursacht/verhindert das Wandern von Ionen? **(zu A5)**
- Welche Bedeutung hat das negative Vorzeichen hinsichtlich der Ladungsverteilung? **(zu A6)**

Hintergrundinformationen zu den Aufgabenstellungen 3-6 (bei Nachfragen):

- Für die minimale elektrische Potentialdifferenz wäre es zum Beispiel möglich, dass alle Chlor- und Natrium-Ionen außen sind und alle Proteine und Kalium-Ionen innen. Dieser Fall tritt nicht auf, weil die chemische Potentialdifferenz sehr groß wäre. **(zu A3)**
- Für die minimale chemische Potentialdifferenz gibt es nur die Möglichkeit, dass sowohl innen als auch außen gleich viele Ionen von jeder Sorte auftreten. In diesem Fall wäre auch die elektrische Potentialdifferenz minimal. Dieser Fall tritt trotzdem nicht auf, weil die negativen Ladungsträger nicht wandern können. Daher wandern die positiven Ladungsträger so lange, bis die elektrische Potentialdifferenz gleich groß ist wie die chemische Potentialdifferenz. **(zu A4)**
- Auch innerhalb des Innenraums bzw. innerhalb des Außenraums verteilen sich die Ladungen bzw. Ionen gleichmäßig. Es wäre zum Beispiel bei der minimalen elektrischen Potentialdifferenz auch nicht möglich, dass sich alle Natrium-Ionen auf der linken Seite des Außenraums und alle Chlor-Ionen auf der rechten Seite des Außenraums befinden, da auch hier eine Abstoßung bzw. Anziehung zwischen den Ladungsträgern herrscht und auch so eine Potentialdifferenz entstehen würde. Dasselbe

gilt für die Verteilung der Ionen bei der minimalen chemischen Potentialdifferenz. **(zu A3 und A4)**

Teil II: Zelle empfängt Reiz:

Die Lehrperson erläutert, was passiert, wenn die Nervenzelle einen Reiz erhält.

- Welche Fragen hast du zu meiner Erklärung zum gereizten Zustand der Zelle?
- Welche Zweifel hast du an meiner Erklärung?

Gegebenenfalls werden Begriffe oder Prozesse ausführlicher erklärt.

- Bitte gib mir noch einmal in eigenen Worten wieder, was ich über den gereizten Zustand der Nervenzelle gesagt habe!
- ➔ in der Erklärung sollte enthalten sein: Voraussetzung für die Registrierung eines Reizes durch die Zelle und Reaktion durch die Zelle (Öffnung der Na-Kanäle)
- Falls du keine weiteren Fragen hast, lies bitte die zugehörigen Aufgaben 1-2!
- Ist dir klar, was bei der Bearbeitung der Aufgabenstellungen zu tun ist?

Gegebenenfalls erläutert die Lehrperson die Aufgabenstellungen.

Der/die Schüler/in bearbeitet die Aufgabenstellungen selbstständig. Falls notwendig bietet die Lehrperson detailliertere Erklärungen an (vgl. unten).

Hintergrundinformationen zu den Aufgabenstellungen 1-2 (bei Nachfragen):

- Am Axonhügel werden die elektrischen Signale von den Dendriten empfangen. Dendriten sind die Fortsätze der Nervenzelle, an denen die Axone anderer Nervenzellen enden. Der Axonhügel ist der Übergang vom Zellkörper zum Axon. Er ist empfindlicher in Bezug auf die Entstehung eines Aktionspotentials als der Rest der Zelle. Damit ein Aktionspotential entsteht und weitergeleitet wird, muss es stark genug sein, um registriert zu werden (Schwellenwert -40 mV). Das Signal wird von spannungsabhängigen Kalium- und Natriumkanälen registriert. Durch die Depolarisation öffnen zunächst die Natrium-Kanäle, der nach 1-3 ms verschlossen wird. Dabei kommt es zu einem „overshoot“, die Potentialdifferenz zwischen Innen- und Außenraum beträgt $+ 30\text{ mV}$. Dann öffnen sich die spannungsabhängigen Kalium-Kanäle und stellen durch Repolarisation das Ruhepotential von -70 mV wieder her. **(zu A1 und A2)**
- Das elektrische Signal wird von Membranabschnitt zu Membranabschnitt weitergeleitet, da es im gereizten Zustand zu einem „overshoot“ kommt und das Zellinnere relativ positiv geladen ist, der nächste Abschnitt hingegen negativ durch das

Ruhepotential. Es kommt zu einem Ladungsfluss im Zellinneren, sodass der nächste Abschnitt positiv geladen wird, usw. Dasselbe passiert mit umgekehrten Vorzeichen im Zelläußeren.

Teil III: Experiment:

- Der Kondensator:

Der Infotext „Der Kondensator“ wird von der Lehrperson in eigenen Worten erläutert.

- Welche Fragen hast du zu meiner Erklärung zum Kondensator?
- Welche Zweifel hast du an meiner Erklärung?
- Betrachte auch die Abbildung. Ist die Abbildung zum Kondensator anschaulich, sodass du aus ihr Informationen herauslesen kannst?

Gegebenenfalls werden Begriffe oder Prozesse ausführlicher erklärt.

- Bitte gib mir noch einmal in eigenen Worten wieder, was ich über die Funktionsweise des Kondensators gesagt habe!

➔ in der Erklärung sollte enthalten sein: Aufbau des Kondensators; Ladungs- und Entladungsvorgang

- Falls du keine weiteren Fragen hast, lies bitte die zugehörigen Aufgaben 1-2!
- Ist dir klar, was bei der Bearbeitung der Aufgabenstellungen zu tun ist?

Gegebenenfalls erläutert die Lehrperson die Aufgabenstellungen.

Der/die Schüler/in bearbeitet die Aufgabenstellungen selbstständig. Falls notwendig, stellt die Lehrperson Nachfragen an oder bietet detailliertere Erklärungen an (vgl. unten).

Zu Aufgabe 2:

- Kennst du die Schaltsymbole für die Spannungsquelle und den Widerstand?

Gegebenenfalls werden die Schaltsymbole aufgezeichnet.

Hintergrundinformationen zu den Aufgabenstellungen 1 und 2 (bei Nachfragen):

- Zur Einführung des Kondensators wird der Schaltkreis einfach gehalten. Tatsächlich stellt nicht nur die Zellmembran einen Widerstand dar, der das Wandern der Ionen verhindert. Auch die Ionen selbst verursachen aufgrund ihrer Ladung ein elektrisches Feld und beeinflussen die anderen Ionen, indem sie die Bewegung des Ladungsträgers begünstigen oder erschweren. Außerdem besitzen Zellinneres und Zelläußeres eine unterschiedliche Querschnittsfläche, sodass auch dadurch ein zusätzlicher Widerstand entsteht. Korrekterweise müsste es eine Vielzahl sowohl paralleler als auch in Serie geschaltener Widerstände geben, die hier für einen Zellenabschnitt in einem seriellen

Widerstand zusammengefasst werden. Auch die verschiedenen Spannungsquellen werden durch eine realisiert. **(zu A1)**

- Das Schaltsymbol für den Widerstand ist ein Rechteck, für die Spannungsquelle zwei parallele Linien, von denen die längere Linie den Pluspol der Gleichspannungsquelle darstellt. **(zu A2)**

- Durchführung des Experiments:

Der/die Schüler/in liest die zugehörigen Aufgaben 3 bis 5.

- Ist dir klar, was bei den Aufgabenstellungen zu tun ist?

Gegebenenfalls erläutert die Lehrperson die Aufgabenstellung.

Der/die Schüler/in baut das Experiment entsprechend seiner/ihrer Schaltskizze auf.

- Was ich dir zum Aufbau noch des Experiments noch sagen möchte: Der Kondensator muss so in die Schaltung eingesetzt werden, dass die Seite, die am Baustein mit + markiert ist, mit dem Pluspol der Gleichspannungsquelle verbunden wird.

Gegebenenfalls erhält er/sie zusätzlich Unterstützung von der Lehrperson.

Der Schüler/die Schülerin bearbeitet die entsprechenden Aufgaben 3 bis 5 und erhält gegebenenfalls Unterstützung durch die Lehrperson.

Mögliche zusätzliche Fragen zu den Aufgabenstellungen 3-5:

- Wieso benötigt man im aktiven Zustand die Gleichspannungsquelle nicht mehr?
- Wieso leuchten die Lämpchen sowohl beim Erreichen des Ruhezustandes als auch im aktiven Zustand nur kurz auf?

- Die Kapazität C:

Der Infotext „Die Kapazität C“ wird von der Lehrperson in eigenen Worten erläutert.

- Welche Fragen hast du zu meiner Erklärung zur Kapazität?
- Welche Zweifel hast du an meiner Erklärung?

Gegebenenfalls werden Begriffe oder Prozesse ausführlicher erklärt.

- Bitte gib mir noch einmal in eigenen Worten wieder, was ich über die Kapazität gesagt habe!

➔ in der Erklärung sollte enthalten sein: Definition Kapazität, Einheit und von welchen Größen sie abhängig ist

- Falls du keine weiteren Fragen hast, lies bitte die zugehörigen Aufgaben 6-8!
- Ist dir klar, was bei der Bearbeitung der Aufgabenstellungen zu tun ist?

Gegebenenfalls erläutert die Lehrperson die Aufgabenstellungen.

Der/die Schüler/in bearbeitet die Aufgabenstellungen selbstständig. Falls notwendig, stellt die Lehrperson Nachfragen an oder bietet detailliertere Erklärungen an (vgl. unten).

Hinweis zu Aufgabe 6: Die Membran der Nervenzelle ist ein Hohlzylinder. Kennst du die Formel für die Oberfläche des Zylinders?

➔ $A_{\text{Zylinder}} = 2 \cdot r \cdot \pi \cdot l$

Abschließende Fragen zur Aufgabenstellung und Verabschiedung:

- Zum Abschluss möchte ich dich fragen, wie dir die Aufgabenstellung gefallen hat?
 - Was war für dich besonders interessant/weniger interessant?
 - Was war für dich einfach/schwierig nachzuvollziehen?
 - Welche Aufgabenstellungen waren für dich einfach/schwierig zu lösen?
 - Was würdest du an der Aufgabenstellung ändern?
 - Würdest du ähnliche Aufgabenstellungen gerne wieder machen?
-
- Ich möchte mich bei dir dabei bedanken, dass du die Aufgabenstellung mit mir durchgegangen bist und mir die Aufzeichnung des Gesprächs für meine Arbeit zur Verfügung stellst. Ich wünsche dir noch schöne und erholsame Sommerferien und alles Gute in deiner weiteren Schullaufbahn!

Interviewleitfaden Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“

Kennenlernen und Besprechung des Ablaufs der Befragung:

Begrüßung und Vorstellung: Hallo, ich wünsche euch einen schönen Vormittag/Nachmittag! Mein Name ist Birgit Schandl und ich bin Masterstudentin im Lehramtsstudium für Deutsch und Physik an der Universität Wien und unterrichte Physik auch schon an einer Schule.

- Möchtet ihr mir vielleicht auch ein wenig von euch erzählen (wie ihr heißt, an welche Schule ihr geht, welche Klasse, wie alt ihr seid, eure Interessen (auch Physik)...)?

Rahmenbedingungen und Ablauf: Ich möchte euch nun genauer erklären, was wir heute machen und wie es abläuft. Einiges davon wisst ihr möglicherweise auch schon aus dem Informationsschreiben, das an eure Eltern ausgegeben wurde. Ich schreibe gerade an meiner Abschlussarbeit in Physik und habe dazu Aufgabenstellungen entwickelt, die sich mit biophysikalischen Inhalten beschäftigen. Die Aufgabe, die ich heute mit euch durchgehen möchte, handelt von den Unterschieden kleiner und großer Säugetiere im Hinblick auf ihre Stoffwechselintensität und ihren Grundumsatz. Am Beispiel der Maus und des Elefanten werden wir zum Beispiel sehen, dass sie in Bezug zu ihrer Masse unterschiedlich viel fressen müssen, um ihren Grundumsatz zu decken. Ich werde die Aufgabenstellung Schritt für Schritt mit euch durchgehen und ihr könnt mir jederzeit Fragen stellen, falls meine Erklärungen oder die Aufgabenstellungen unverständlich sind oder wenn ihr manche Begriffe nicht kennt. Ich werde unser Gespräch als Audiodatei aufzeichnen. Die Auswertung unseres Gesprächs erfolgt anonym, d.h., eure Namen kommen in meiner Arbeit nicht vor. Danke, dass ihr euch dazu bereit erklärt habt, dass ich unser Gespräch zur Bearbeitung der Aufgabenstellung für meine Masterarbeit verwenden darf, das ist mir wirklich eine große Hilfe.

- Gibt es von eurer Seite noch Fragen, bevor wir mit der Aufgabenstellung beginnen?

Teil I: Stoffwechselintensitäten verschiedener Tiere

Der Infotext „Stoffwechselintensität“ wird von der Lehrperson in eigenen Worten erläutert.

- Gibt es Fragen zu meiner Erklärung zur Stoffwechselintensität?
- Welche Zweifel hast du an dieser Erklärung?

Gegebenenfalls werden Begriffe oder Prozesse ausführlicher erklärt.

- Bitte gib mir noch einmal in eigenen Worten wieder, was ich dir über die Stoffwechselintensität erzählt habe!
- ➔ in der Erklärung sollte enthalten sein: Aufrechterhaltung der konstanten Körpertemperatur bei Säugetieren, Stoffwechselintensität Erklärung und Proportionalitätsverhältnis
- Wenn es keine weiteren Fragen gibt, lies bitte die beiden Aufgaben 1 und 2!
- Sind die Aufgabenstellungen verständlich und weißt du, was zu tun ist?

Gegebenenfalls erläutert die Lehrperson die Aufgabenstellungen.

Der/die Schüler/in bearbeitet die Aufgabenstellungen selbstständig. Falls notwendig, stellt die Lehrperson Nachfragen an oder bietet detailliertere Erklärungen an (vgl. unten).

Mögliche zusätzliche Fragen zu den Aufgabenstellungen 1-2:

- Welche Informationen sind gegeben und welche gesucht? **(zu A1)**
- Wie können wir das Gegebene und Gesuchte zu einer Formel verbinden? **(zu A1)**
- Welche Informationen kannst du aus der Tabelle 1 herauslesen? **(zu A2)**

Hintergrundinformationen zu den Aufgabenstellungen 1-2 (bei Nachfragen):

- Um die Körpertemperatur konstant zu halten, muss die vom Körper gleich viel Energie in Form von Nahrung (chemische Energie) aufgenommen werden, wie in Form von Wärme wieder abgegeben wird oder in Bewegungsenergie umgewandelt wird (= Energieerhaltungssatz). **(zum Infotext)**
- Proportionalität bedeutet, dass die beiden Größen immer im selben Verhältnis zueinander stehen. Wenn zum Beispiel die Masse^{3/4} der Maus verdoppelt würde, dann würde sich auch die Stoffwechselintensität der Maus verdoppeln. Das Verhältnis zwischen $m^{3/4}$ der Maus zur Stoffwechselintensität der Maus ist also gleich groß wie das Verhältnis zwischen $m^{3/4}$ des Elefanten zu der Stoffwechselintensität des Elefanten. **(zu A1)**
- Eine Maus besitzt eine Stoffwechselintensität von 0,17 W, das bedeutet, sie nimmt 0,17 Joule Energie in Form von Nahrung pro Sekunde auf. Pro Stunde müsste die Maus also

612 Joule zu sich nehmen ($0,17 \cdot 3600$), pro Tag rund 14.700 J ($612 \cdot 24$ gerundet). Zum Vergleich: Eine Semmel besitzt eine Energiemenge von ca. 740 kJ=740.000 J. **(zu A1)**

- Bei der Größenordnung der Abweichung geht es darum, die Zehnerpotenz anzugeben. Hier: In der Tabelle wird für die Stoffwechselintensität des Menschen 80 W angegeben, bei der Abschätzung durch das Verhältnis ergeben sich 75 W. Das entspricht einer Abweichung im Einerbereich (10^0). **(zu A2)**

Teil II: Grundumsätze verschiedener Tiere

Der Infotext „Grundumsatz“ wird von der Lehrperson in eigenen Worten erläutert.

- Gibt es Fragen zu meiner Erklärung zum Grundumsatz?
- Welche Zweifel hast du an dieser Erklärung?

Gegebenenfalls werden Begriffe oder Prozesse ausführlicher erklärt.

- Bitte gib mir noch einmal in eigenen Worten wieder, was ich dir über den Grundumsatz erzählt habe!
- ➔ in der Erklärung sollte enthalten sein: Definition des Grundumsatzes + Beispiel 70 kg schwerer Mensch
- Wenn es keine weiteren Fragen gibt, lies bitte die beiden Aufgaben 3 bis 6!
- Sind die Aufgabenstellungen verständlich und weißt du, was zu tun ist?

Gegebenenfalls erläutert die Lehrperson die Aufgabenstellungen.

Der/die Schüler/in bearbeitet die Aufgabenstellungen selbstständig. Falls notwendig, stellt die Lehrperson Nachfragen an oder bietet detailliertere Erklärungen an (vgl. unten).

Mögliche zusätzliche Fragen zu den Aufgabenstellungen 3-6:

- Wie viel Energie benötigt der Mensch pro Gramm Körpergewicht? Wie viel dann folglich die Maus? **(zu A3)**
- Kennst du die Vorsilben **kJ** und **MJ**? **(zu A3-A6)**
- Wie kannst du aufgrund des Ergebnisses aus A5 darauf schließen, welches Tier eine höhere Stoffwechselintensität besitzt? Elefant oder Maus? **(zu A6)**

Hintergrundinformationen zu den Aufgabenstellungen 3-6 (bei Nachfragen):

- Der Körper benötigt im Ruhezustand auch Energie, eben genau den Grundumsatz, um die Körpertemperatur aufrecht zu erhalten und damit die Organe arbeiten können (z.B.: Herztätigkeit, Atmung). Wie hoch der Grundumsatz ist, hängt davon ab, um welches Tier es sich handelt und wie groß die Masse des Tiers ist. **(zu A3)**

- Vorsilben: die Vorsilbe Kilo (z.B.: bei kJ) steht für 1000 und die Vorsilbe Mega (z.B.: bei MJ) steht für 1.000.000. 1.000.000 J sind daher 1000 kJ und 1 MJ. **(zu A3-A6)**
- Tatsächlich müssen Elefanten täglich 150 kg Nahrung (Feuchtmasse) zu sich nehmen, da sie einen großen Teil der aufgenommenen Nahrung nicht verwerten können und wieder ausscheiden. **(zu A4)**

Teil III: Das Verhältnis zwischen Körperoberfläche und Volumen verschiedener Tiere:

- Lies bitte dir drei Aufgabenstellungen 7-9!
- Sind die Aufgabenstellungen verständlich und weißt du, was zu tun ist?

Gegebenenfalls erläutert die Lehrperson die Aufgabenstellungen.

Der/die Schüler/in bearbeitet die Aufgabenstellungen selbstständig. Falls notwendig, stellt die Lehrperson Nachfragen an oder bietet detailliertere Erklärungen an (vgl. unten).

Mögliche zusätzliche Fragen zu den Aufgabenstellungen 7-9:

- Welchem geometrischen Körper entspricht die Maus, wenn er als rund angenommen wird? **(zu A7)**
- Kennst du die Formeln der Körperoberfläche und des Volumens für die Kugel? **(zu A7)**
- Wie verhält sich der Durchmesser zum Radius, der für die Berechnung benötigt wird? **(zu A7)**
- Welche Größe wächst somit mit steigendem Durchmesser stärker an? Oberfläche oder Volumen? **(zu A8)**
- Welchen Beitrag leistet das Skelett zur Stoffwechselaktivität bzw. zum Grundumsatz? **(zu A9)**

Hintergrundinformationen zu den Aufgabenstellungen 7-9 (bei Nachfragen):

- Die Formel für die Körperoberfläche der Kugel lautet: $A = 4 \cdot r^2 \cdot \pi$ und für das Volumen der Kugel $V = \frac{4}{3} \cdot r^3 \cdot \pi$. **(zu A7)**
- Mit wachsender Körpergröße bzw. -länge nimmt das Volumen stärker zu als die Körperoberfläche. Die Masse eines Körpers wächst proportional zum Volumen und muss mit Energie versorgt werden. Die Abgabe von Wärme erfolgt über die Oberfläche, daher müssen kleinere Tiere mehr Nahrung zu sich nehmen müssen, um nicht abzukühlen, während größere Tiere Kühlmechanismen benötigen (Schwitzen, Hecheln, etc.). **(A7-A9)**

Abschließende Fragen zur Aufgabenstellung und Verabschiedung:

- Zum Abschluss möchte ich dich fragen, wie dir die Aufgabenstellung gefallen hat?
 - Was war für dich besonders interessant/weniger interessant?
 - Was war für dich einfach/schwierig nachzuvollziehen?
 - Welche Aufgabenstellungen waren für dich einfach/schwierig zu lösen?
 - Was würdest du an der Aufgabenstellung ändern?
 - Würdest du ähnliche Aufgabenstellungen gerne wieder machen?
-
- Ich möchte mich bei dir dabei bedanken, dass du die Aufgabenstellung mit mir durchgegangen bist und mir die Aufzeichnung des Gesprächs für meine Arbeit zur Verfügung stellst. Ich wünsche dir noch schöne und erholsame Sommerferien und alles Gute in deiner weiteren Schullaufbahn!

Transkript der ersten Akzeptanzbefragung (8.7.2020)

Nervenzelle – Teil I: Ruhezustand der Nervenzelle (Infotext 1+ Abbildung 1)

L: Also, da ist jetzt in der Abbildung der Ruhezustand einer Nervenzelle dargestellt und das Untere hier ist das Zellinnere und das Obere ist das Zelläußere und dazwischen gibt es diese Lipid-Doppelschicht. Das ist die Zellmembran, die Grenzschrift, die eben das Innere vom Äußeren trennt. #00:00:50-9#

S1: Mhm. #00:00:52-6#

L: Und durch diese Grenzschrift können die Teilchen, die du hier siehst, das sind geladene Teilchen, also das sind Ionen. Die haben entweder eine positive oder eine negative Ladung. Zum Beispiel Kalium ist positiv geladen, das ist das K^+ und die Proteine sind negativ geladen. [...] Die können da nicht durch, durch die Membran. Also das ist- #00:01:18-7#

S1: -eingeschlossen so, also das heißt, das geht da so rum. #00:01:22-7#

L: Ah, ok, rundherum können sie im Prinzip auch nicht, weil, also das ist jetzt nur ein Ausschnitt von der- #00:01:28-7#

S1: Ja genau. #00:01:29-3#

L: -Membran und in Wirklichkeit ist die Zelle ja rund und man muss sich vorstellen. #00:01:32-7#

S1: Genau, das mein ich ja. Das heißt, diese Schicht geht da in großem Rahmen rum. #00:01:35-7#

L: Die geht rundherum, genau. Genau richtig, da können sie nicht durch, aber es gibt dann noch so Kanäle, also einen Kalium-Kanal und einen Natrium-Kanal und im Ruhezustand, also wenn die Zelle gerade keinen Reiz bekommt, wenn sie in Ruhe ist, können die Kalium-Ionen, das sind die pinken- Kann man die unterscheiden? #00:01:58-3#

S1: Ja. #00:01:58-3#

L: Die pinken, die können da durch [...] wandern. Der Natrium-Kanal ist im Ruhezustand geschlossen, das heißt, da können sie nicht durch. Durch die Zellmembran können sie sowieso nicht durch. Und die Natrium-Kalium-Pumpe, die gibt es auch noch und die nimmt immer drei Natrium-Ionen von innen nach außen und zwei Kalium-Ionen von außen nach innen, immer gleichzeitig, im Wechsel. #00:02:28-1#

S1: Ist das nur im Ruhezustand oder ist das immer? #00:02:30-9#

L: Das ist jetzt im Ruhezustand. #00:02:33-5#

S1: Ok. #00:02:33-5#

L: Also das ist jetzt einmal der Ruhezustand und das ist jetzt eh schon das Wichtigste, das du wissen solltest. Also wandern kann Kalium⁺ durch den Kanal und Natrium und Kalium durch die Pumpe im Ruhezustand. Dann kannst du schon- Hast du noch irgendwelche Fragen? #00:02:47-3#

S1: Nein. #00:02:47-3#

L: Ok. Dann kannst du es mir noch einmal in eigenen Worten erklären? #00:02:54-2#

S1: Das ist innen und außen. Das ist, das Innere ist von der Lipid-Doppelschicht eingeschlossen. #00:03:01-4#

L: Mhm. #00:03:01-4#

S1: Und das sind Ionen da drinnen. #00:03:03-3#

L: Mhm. #00:03:03-3#

S1: Und die Kalium-Ionen können im Ruhezustand nur durch den Kalium-Kanal durch. Der Natrium Kanal ist zugeschlossen, also geschlossen im Ruhezustand und das Natrium kann nur wechseln, wenn es gleichzeitig drei Natrium und Kalium zwei rausgibt und rein und das wechselt. #00:03:25-1#

L: Genau. Also Natrium raus und Kalium rein. Also immer von innen drei Natrium nach außen und von außen zwei Kalium rein, genau. Richtig, dann kannst du schon die Aufgabenstellungen durchlesen, und wenn du Fragen hast, fragst mich- #00:03:40-3#

S1: Ja. #00:03:40-3#

Maus/Elefant – Teil I: Stoffwechselintensitäten einiger Tiere (Infotext 1)

L: Dann wechsele ich einmal zu dir. Säugetiere, das wirst du wahrscheinlich eh wissen, haben alle eine konstante Körpertemperatur von 37 Grad, so ungefähr, im Sommer und im Winter, immer und müssen die aufrecht erhalten. #00:04:04-4#

S2: Ja. #00:04:04-4#

L: Das heißt, sie müssen immer gleich viel Energie abnehmen- also abgeben- wie aufnehmen, damit sie immer bei diesen 37 Grad konstant bleiben. Damit man nicht auskühlt, muss man Nahrung aufnehmen bzw., wenn es zu heiß ist, können manche Säugetiere schwitzen, Menschen zum Beispiel, oder hecheln oder was auch immer, um Energie wieder abzuführen. Dann gibt es diese Größe, das ist die Stoffwechselintensität, die ist von Tier zu Tier unterschiedlich und gibt an, wie viel Energie in einer bestimmten Zeit in Form von Nahrung von einem Tier aufgenommen wird. #00:04:45-6#

S2: Ok. #00:04:45-6#

L: Also, je nachdem, welches Tier, wie viel Energie pro Zeit aufgenommen wird. Und man hat verschiedene Tiere verglichen und festgestellt, dass diese Stoffwechselintensität mit der Masse des Tieres zusammenhängt, also, wie viel Masse da ist und ist proportional zur Masse hoch $\frac{3}{4}$, also, das heißt, die Stoffwechselintensität würde sich verdoppeln, wenn man die Masse des

Tieres hoch $\frac{3}{4}$ auch verdoppelt. #00:05:16-4#

S2: Ok. #00:05:16-4#

L: Das heißt proportional. Wenn man das eine verdoppelt, verdoppelt sich auch das andere. #00:05:22-2#

S2: Jaja. Heißt 0,17 hoch $\frac{3}{4}$ ist 0,021. #00:05:29-2#

L: Also umgekehrt. 0,021 hoch $\frac{3}{4}$, weil das ist Masse. Es ist nicht das gleiche, es ist nicht das gleiche, es ist proportional zueinander. #00:05:40-6#

S2: Ach so, ok. #00:05:40-6#

L: Es ist nicht das hoch $\frac{3}{4}$ ist gleich das. #00:05:45-2#

S2: Ach so, also wenn ich das hoch $\frac{3}{4}$ rechne und dann mal zwei, ist es dasselbe, wie wenn ich das mal zwei rechne. #00:05:50-7#

L: Es ist dann im gleichen Verhältnis. #00:05:54-4#

S2: Ach so, ok. #00:05:54-4#

Maus/Elefant – Teil I: Stoffwechselintensitäten einiger Tiere (Aufgabe 1)

L: Du kannst jetzt auch im Prinzip schon durchlesen. Das erkläre ich dir vielleicht auch noch: Du hast das von der Maus, das steht eh da, also die Masse von der Maus sind 21 g, das ist das kleinste lebende Säugetier und die Stoffwechselintensität sind 0,17 Watt. Watt sind Joule pro Sekunde, das heißt die Maus nimmt quasi 0,17 Joule an Energie pro Sekunde auf. Das sagt die Stoffwechselintensität. Und vom Elefant kennt man jetzt auch die Masse, das sind 4 Tonnen und was du jetzt quasi herausfinden sollst, weil das steht nicht in der Tabelle- #00:06:33-3#

S2: Die Stoffwechselintensität- #00:06:34-5#

L: -vom Elefanten, genau. Du kannst jetzt einmal überlegen, wie du das machen könntest. Schaust du, dass du die Einheiten umwandelst. #00:06:45-3#

S2: In Kilogramm. #00:06:47-0#

L: Genau. #00:06:47-0#

S2: Ok.

Nervenzelle – Teil I: Ruhezustand der Nervenzelle (Aufgabe 1)

S1: Das heißt, ich hab' jetzt da, also muss ich da jetzt nur hinschreiben, Natrium-Ion ist positiv und Kalium-Ion ist auch positiv. #00:06:55-3#

L: Mhm, genau. Und was gibt es noch? #00:07:00-2#

S1: Das wollte ich fragen. Ist das Chlor auch ein Ion? #00:07:02-4#

L: Ja. #00:07:04-0#

S1: Das muss ich auch beschreiben? #00:07:04-0#

L: Das Chlor ist auch ein Ion, das hat nur eine negative Ladung. #00:07:08-1#

S1: Ja, das wollte ich fragen, weil es da in dem Text nicht vorkommt. #00:07:08-6#

L: Genau, das machen wir dann gleich, warum das in dem Text nicht vorkommt. Und das Protein auch, das ist auch negativ geladen, das hat auch so ein kleines Minus. #00:07:20-0#

S1: Also, das muss ich auch beschreiben. Ich dachte, ich muss nur die Sachen, die im Text vorkommen. #00:07:23-7#

L: Mhm. Ja, wir reden dann eh gleich darüber, warum die im Text nicht vorkommen. #00:07:37-2#

S1: Soll ich da noch „Ion“ dahinter setzen? #00:07:53-3#

L: Wenn man weiß, dass es negativ geladen ist, ist es eh schon klar, dass es ein Ion ist. #00:07:53-3#

Nervenzelle – Teil I: Ruhezustand der Nervenzelle (Aufgabe 2)

S1: Und jetzt muss ich das wieder kurz zusammenfassen, welche Ionen, wie wandern können. #00:07:57-5#

L: Genau. Welche können denn wandern? #00:08:00-2#

S1: Die Natrium- und die Kalium-Ionen. #00:08:03-1#

L: Genau. Deswegen kommen quasi die negativ geladenen nicht vor, weil die nicht wandern können. Deswegen sind die im Text nicht drinnen, weil die können nirgends durch, also dort wo die sind, bleiben sie quasi. #00:08:21-3#

S1: Passt. #00:08:21-3#

Maus/Elefant – Teil I: Stoffwechselintensitäten einiger Tiere (Aufgabe 1)

S2: Wie kann ich auf dem Taschenrechner hoch $3/4$ rechnen? #00:08:19-2# #00:08:24-8#

L: Beim Handy? Also mit dem x hoch musst du dann. #00:08:49-3#

S2: Ok. #00:08:53-8#

[Die Schüler bearbeiten eigenständig die Aufgaben] #00:10:47-0#

S2: Stimmt das? #00:10:47-0#

L: Ja, schaut gut aus. #00:10:50-4#

L: Dann sagst du mir vielleicht noch, wie du's gemacht hast? #00:11:05-7#

S2: Also, ähm, ich hab' zuerst 4000 hoch $\frac{3}{4}$ dividiert durch äh, 0,021 hoch $\frac{3}{4}$ gerechnet. #00:11:13-9#

L: Mhm. #00:11:13-9#

S2: Dann hab' ich sozusagen das, was man hier mal nehmen muss, genommen und hab das mal 0,17 gerechnet. #00:11:18-9#

L: Genau, ja. Lies dir das mal durch, das nächste. #00:11:36-2#

Nervenzelle – Teil I: Ruhezustand der Nervenzelle (Aufgabe 2)

S1: Passt das so, die Beschreibung? #00:11:36-2#

L: [liest vor]: Die Kalium-Ionen können einerseits durch den Kalium⁺ - Kanal Seiten wechseln oder durch die Natrium-Kalium-Pumpe, in welcher zwei Kalium- und drei Natrium-Ionen ausgetauscht werden. [Lehrperson liest leise zu Ende] Genau.

Nervenzelle – Teil I: Ruhezustand der Nervenzelle (Info 2)

Dann kannst du schon umblättern. Also dann gibt's, ähm, also jetzt geht's dann darum, warum die überhaupt wandern würden, also was quasi Ionen bewegt, damit sie wandern. Und dann gibt's zum einen die elektrische Potentialdifferenz, also das, was du vielleicht, wahrscheinlich schon weißt: dass gleichnamige Ladungen sich abstoßen, also positiv und positiv stoßen sich ab- #00:12:28-6#

S1: Mhm. #00:12:28-6#

L:-und negativ und negativ auch, und negativ und positiv zieht sich an. Und, ahm, die Ladungsträger, also die Ionen, streben an, dass sie sich möglichst gleichmäßig verteilen. Wenn jetzt zum Beispiel auf einer Seite alle positiven Ladungsträger wären und auf der anderen alle negativen, dann würd's eine große Potentialdifferenz geben und das ist das gleiche wie eine Spannung. Also dann gibt es eine große Spannung und dann würden sie anstreben, sich auszugleichen und sich zu vermischen, weil dann wäre die Potentialdifferenz minimal. Das ist das, was man möchte, die geringstmögliche Potentialdifferenz. Und neben der elektrischen, die jetzt nur die Ladungen betrifft, also positiv oder negativ, gibt's auch noch die chemische Potentialdifferenz und die betrifft, um welche Art von Ion es sich handelt. #00:13:20-0#

S1: Mhm. #00:13:20-0#

L: Also, Kalium, Natrium, Chlor, Protein, jetzt unabhängig von der Ladung, möchten sich die vier auch gleichmäßig verteilen und wenn die jetzt auch ungleichmäßig verteilt sind, zum Beispiel alle Natrium und alle Chlor außen und alle Kalium und alle Proteine innen, zum Beispiel, dann wär auch eine größere chemische Potentialdifferenz. #00:13:44-5#

S1: Das heißt, als Endprodukt ist erwünscht, dass erstens einmal bei der elektrischen Potentialdifferenz alles, also plus und minus ausgeglichen sind, also positiv und negativ und bei der chemischen, dass auch die Ionen, die einzelnen Ionenarten, das heißt einfach, dass nicht auf einer Seite das gleiche ist. #00:14:05-0#

L: Genau, also dass die einzelnen Ionenarten auch ausgeglichen sind. Also, das sind die zwei Möglichkeiten, die verursachen können, dass sich eine Ladung irgendwo hinbewegt, um eben die Ladungen oder die Ionenarten gleichmäßiger zu verteilen. Gut, das passt dann schon. Lies dir mal durch, da geht es jetzt darum, dass du grafisch eine Möglichkeit findest, wie eine mögliche minimale elektrische Potentialdifferenz ausschauen könnte zwischen innen und außen und eine mögliche minimale chemische Potentialdifferenz zwischen innen und außen. #00:14:42-5#

S1: Ok. #00:14:42-5#

L: Ok? #00:14:45-7#

S1: Ja. Ich les es mir nochmal durch. #00:14:44-9#

Maus/Elefant – Teil I: Stoffwechselintensitäten einiger Tiere (Aufgabe 2)

S2: Also, ich soll jetzt zum Beispiel, das Verhältnis, also die beiden Zahlen voneinander ausnehmen. #00:14:54-3#

L: Mhm. #00:14:56-6#

S2: und dann [...] #00:15:01-4#

L: Also, du hast jetzt quasi das vom Menschen. #00:15:02-9#

S2: Zum Beispiel 80 dividiert durch 0,17, da kommt eine Zahl raus. 70 dividiert durch dieselbe Zahl und dann kommt 0,021 hoch $\frac{3}{4}$ raus. #00:15:14-3#

L: Mhm. Und dann, genau, dann sollst du schauen, quasi, wart einmal, was du jetzt sollst. Du hast jetzt die Tabelle und die Stoffwechselintensität ist das 80, das ist quasi so ein empirischer Wert, den hat man durch Messungen herausgefunden. Und du sollst jetzt quasi überprüfen, ob man mit der Formel, wie wir es vorher gemacht haben, mit dem Verhältnis, also Stoffwechselintensität zu Masse hoch $\frac{3}{4}$ - Auf was für eine Stoffwechselintensität man dann kommen würde. #00:15:48-1#

S2: Ok. #00:15:48-1# [zweifelnd]

L: Also, wenn du's quasi so ausrechnest mit den 70 Kilo, auf was für ein Verhältnis du kommen würdest. Zum Beispiel mit der Maus könntest du's vergleichen. #00:15:57-7#

S2: Ok. #00:15:55-7# [überzeugt]

L: Also du könntest es jetzt quasi so ähnlich machen wie vorher beim Elefanten, nur dass du's halt jetzt statt mit 4 Tonnen mit 70 Kilo machst und dann kannst du schauen, wie viel sich das unterscheidet von dem, was da in der Tabelle steht. #00:16:08-4#

S2: Ok. #00:16:14-0#

#00:16:14-0#

Nervenzelle – Teil I: Ruhezustand der Nervenzelle (Aufgabe 3)

S1: Ich muss- Es geht darum, dass ich- Ich versteh nicht ganz, wie ich das grafisch darstellen kann. Es geht darum, ich soll quasi zeigen, wenn da eine Zellwand ist, dass da, wenn da jetzt zwei plus ist und da zwei minus, dass es sich dann so austauscht, dass dann am Ende plus minus und plus minus- #00:16:34-8#

L; Genau, also du stellst gleich den Endzustand dar, also die minimale elektrische Potentialdifferenz. #00:16:42-9#

S1: Das wär' das hier. #00:16:43-0#

L: Zum Beispiel, genau. #00:16:45-8#

S1: Und wie soll ich das grafisch darstellen? #00:16:47-2#

L: Am besten machst du einfach einen Strich für die Membran, also für die Lipid-Doppelschicht und zum Beispiel oben "außen" und unten "innen" und paar wählst du aus, also zwei oder drei und statt dass du sie halt nur plus und minus nennst- #00:17:02-3#

S1: -beschreibe ich's noch. #00:17:02-3#

L: -nenns halt noch Kalium, Natrium oder Chlor und Protein. Ok? #00:17:08-3#

S1: Ja. Muss ich da alle vier gleich reinmachen? Kann ich da gleich Chlor, Natrium, Kalium und [...] ? #00:17:18-6#

L: Protein. #00:17:18-6#

S1: Protein und das andere das gleiche oder kann ich auch nur 2 nehmen? #00:17:21-9#

L: Es sollten schon alle vier eigentlich vorkommen, weil damit's quasi mit der Situation in der Zelle halt übereinstimmt. #00:17:30-1#

S1: Ok, passt. #00:17:35-1#

Nervenzelle – Teil I: Ruhezustand der Nervenzelle (Aufgabe 4)

S1: Das heißt, das ist so gemeint? #00:19:00-4#

L: Mhm, zum Beispiel. #00:19:00-4#

S1: Das ist aber jetzt auch gleichzeitig das hier. #00:19:01-8#

L: Ja, also so wie du es jetzt gemacht hast, ist es auch gleichzeitig das. #00:19:06-9#

S1: Das gleiche für unten? #00:19:06-9#

L: Ja, das passt schon. In dem Fall ist es auch so... Du hättest es zum Beispiel auch so machen können, du hättest zwei Proteine rauf geben können, zwei Chlor runter, zwei Natrium rauf, zwei Kalium runter oder so irgendwie. #00:19:18-6#

S1:Mhm. #00:19:20-3#

L: Aber das ist egal, das ist ja auch richtig. Das einzige, was ist: So würde es trotzdem nicht ausschauen, weil sie positiven Ladungsträger innen und außen auch so aufteilen würden, dass sie auch abwechselnd wären, also hier würden nicht zwei negative nebeneinander sein, weil die würden sich auch abstoßen und hier auch nicht zwei positive, sondern da würd auch irgendwie positiv-negativ-positiv-negativ- #00:19:43-2#

S1: Das heißt, man müsste die zwei inneren tauschen? #00:19:46-9#

L: Genau, so kannst du es auch machen. Weil die würden auch miteinander reagieren und sie auch abstoßen. #00:20:11-7#

S1: Kann ich das jetzt machen, dass ich das jetzt zweimal Kalium rein gebe und dann da nochmal ein Protein, dann gebe ich da zwei Chlor rein und zwei Natrium? #00:20:40-9#

L: Mhm. Dann kannst du das untere anschauen, du hast es eh schon durchgelesen. #00:20:53-4#

S1: Das ist das gleiche wie vorher, was wir oben gehabt haben. #00:20:54-7#

L: Genau. #00:20:57-6#

Maus/Elefant – Teil I: Stoffwechselintensitäten einiger Tiere (Aufgabe 2)

S2: Ich hab's. Mit dem Elefanten. #00:21:05-6#

L: Du kannst auch statt das von der Maus, das vom Elefanten nehmen, das würd auch gehen. Also beides. #00:21:32-5#

S2: Ich bin jetzt auf 74,579 gekommen. #00:21:32-5#

L: Mhm, passt. Das heißt, wie groß schätzt du, also man kann auf 75 oder so runden, wie groß ist die Abweichung ungefähr? #00:21:43-0#

S2: Also 5. #00:21:44-3#

L: Genau, also 5. Und so im Größenordnungsbereich? Also, kennst du so Zehnerpotenzen oder so etwas? #00:21:52-0#

S2: [zögert] Äh, ich weiß nicht genau, was Sie meinen. #00:21:57-1#

L: Ok, das heißt von der Größenordnung her wär das jetzt so im Einerbereich, quasi weil's um 5 abweicht, also zwischen 1 und 10, das ist eine einstellige Zahl, deswegen liegt das im Einerbereich, die Abweichung, so ungefähr. #00:22:13-3#

Maus/Elefant – Teil II: Grundumsätze einiger Tiere (Infotext 2)

S2: Achso. Also 11 wäre zum Beispiel im Zehnerbereich? #00:22:16-9#

L: Genau, richtig. Kannst schon umblättern. [...] Gut, dann. Gleich einmal zum Grundumsatz, weiß man vom Menschen vielleicht eh auch, also das ist die Menge an Energie, die man auch aufnehmen muss, wenn man in völliger Ruhe ist, damit eben die Organe arbeiten können, damit man atmet- #00:22:47-6#

S2: Zum Beispiel beim Schlafen. #00:22:48-8#

L: Genau, zum Beispiel beim Schlafen, da braucht der Mensch trotzdem eine bestimmte Energiemenge, die wandelt er um in Wärmeenergie oder Bewegungsenergie, in dem Fall eigentlich nicht, wenn man in Ruhe ist, aber, damit die Organe arbeiten können. Ja, also das ist die Energie, die man innerhalb von 24 Stunden brauchen würde, wenn man sich gar nicht bewegen würde. Und für einen Menschen mit einer Masse von 70 Kilo sind das ungefähr 7000 Kilojoule. Sagst du mir das vielleicht noch einmal in eigenen Worten, was der Grundumsatz ist? #00:23:22-9#

S2: Also der Grundumsatz ist, die Menge von Energie, die man braucht, wenn sich der Körper in völliger Ruhe befindet. Also nicht in völliger Ruhe, weil man ja auch atmet, ähm, aber zum Beispiel beim Schlafen. #00:23:37-7#

L: Genau, dann kannst du dir schon durchlesen, wie das jetzt ist im Vergleich zum Menschen bei einer Maus und beim Elefanten und dann den Grundumsatz von der Maus und vom Elefanten berechnen. Also lies es dir mal durch und schau mal, ob'st eine Frage hast. #00:23:52-2#

S2: Ja. #00:23:56-7#

Nervenzelle – Teil I: Ruhezustand der Nervenzelle (Aufgabe 5)

L: Zur Frage 5: Was dafür spricht und was dagegen spricht, dass die Kalium-Ionen diesen Kanal benutzt. Ähm, weißt du, wie diese Frage gemeint ist? #00:24:20-9#

S1: In welchem Fall sie da rübergehen müssten oder warum. #00:24:25-3#

L: Genau. Also, es gibt jetzt quasi diese zwei Antriebsmöglichkeiten, ähm, damit sie da wandern würden. Also entweder, um die elektrische Potentialdifferenz zu minimieren. #00:24:38-2#

S1: Mhm. #00:24:38-2#

L: -also, um sich von der Ladung her auszugleichen oder, um die chemische Potentialdifferenz zu minimieren, das heißt, weil zum Beispiel auf einer Seite mehr Kalium-Ionen sind und sie deswegen wandern, um die Art der Ionen, um so einen Ausgleich zwischen innen und außen herzustellen. #00:24:59-0#

S1: Ist das überhaupt möglich? #00:24:59-0#

L: Nein. Das ist theoretisch, das wär' jetzt theoretisch gesehen die minimale Potentialdifferenz, aber praktisch gesehen ist das nicht möglich, weil die nicht wandern können. Das Obere hingegen wär' schon möglich, wenn das innen und das außen wäre. Aber das geht gar nicht, also das ist nur die theoretische Lösung. #00:25:33-6#

S1: Das heißt sie haben dann diese -70 dort. #00:25:39-9#

L: Also, die -70, -70 mV ist dann diese Potentialdifferenz, die sie dann erreichen, wenn der Ruhezustand erreicht ist, wenn jetzt das da der Fall wäre, was du jetzt gezeichnet hättest, dann wäre die Potentialdifferenz 0, also dann wäre sie nicht -70 mV, sondern dann wär's 0, weil es gar keine Potentialdifferenz geben würd. #00:26:06-2#

S1: Ah! #00:26:12-1#

L: Ja, also, was das jetzt quasi ist bei den Kalium-Ionen, sie wandern durch die Natrium-Kalium-Pumpe immer von außen nach innen. #00:26:25-8#

S1: Also es wandern zwei Kalium-Ionen, das heißt, das ist ohne diesen Durchgang gar nicht lange möglich, oder? Das heißt, würde dieser Durchgang da nicht existieren, wäre nur ein Durchgang durch die Pumpe möglich? #00:26:40-1#

L: Wenn es den Durchgang nicht geben würde, wären irgendwann keine Kalium-Ionen mehr da. #00:26:49-3#

S1: Das heißt, die Kalium-Ionen müssen wechseln und weiter wechseln, damit die Pumpe weiterhin aufrecht erhalten bleibt, bis die Natrium-Ionen auch drüben sind, also auf der anderen Seite. #00:27:05-0#

L: Was man sich jetzt einmal fragen kann, ist, ähm, wegen der elektrischen Potentialdifferenz, damit die jetzt von innen, weil es sind jetzt viele innen durch die Pumpe, wieder zurückwandern würden, würden die quasi aufgrund der elektrischen Potentialdifferenz zurückwandern? Also man könnte auch sagen, gibt's im Inneren mehr positive Ladungsträger als im Äußeren? #00:27:33-1#

S1: Im Inneren mehr, weil immer zwei dazukommen, aber drei weggehen. Warte.. Ist das logisch? Nein, außen. Ich steh grad am Schlauch. #00:28:01-9#

L: Ja, außen, weil nach außen kommen quasi immer drei. #00:28:03-8#

S1: Mhm und nach innen immer zwei. #00:28:06-5#

L: Das heißt, da gibt's eigentlich weniger positive Ladungsträger im Endeffekt, wenn man jetzt nur die Pumpe einmal hernimmt. #00:28:17-4#

S1: Aber wenn dann außen mehr sind, wieso wandern dann von innen Kalium-Ionen nach außen? #00:28:25-3#

L: Ja, das ist jetzt die Frage. Jetzt nähern wir uns eh schon dem. Also, ahm, man könnte jetzt sagen, vom Ladungsunterschied her... Würden sie wandern oder würden sie nicht wandern? #00:28:38-7#

S1: Nicht. #00:28:38-5#

L: Also, das kann man schon einmal sagen, das spricht dagegen, dass die Kalium-Ionen wandern, weil ja da innen ohnehin schon weniger positive Ladungsträger sind und dann würden noch weniger sein. #00:28:55-0#

S1: Ja. #00:28:56-8#

L: Aber was würde jetzt dafür sprechen, dass sie trotzdem wandern? #00:28:58-5#

S1: Dass die Pumpe einen zweiten Durchlauf machen kann, weil drei können nicht zweimal abführen. #00:29:06-6#

L: Ja, das sind natürlich [lacht] #00:29:06-6#

S1: [lacht] #00:29:06-6#

L: die drei sind jetzt natürlich nur schematisch, das sind nicht wirklich nur drei, aber, das ist jetzt nur quasi die Veranschaulichung, dass weniger Kalium-Ionen außen sind als innen, das sind nicht nur drei. #00:29:23-4#

S1: Ja. #00:29:23-4#

L: Aber ich weiß schon, was du meinst, wenn es wirklich nur drei wären, könnte die Pumpe nur einen Durchgang machen, ja. #00:29:32-8#

S1: Und warum die auch wechseln würden, ist, damit der Gehalt der Kalium-Ionen weniger wird und auf der anderen Seite mehr und umgekehrt. #00:29:38-8#

L: Genau. Also, quasi welche Potentialdifferenz? #00:29:43-9#

S1: Chemisch. Es gibt chemisch, was dafür spricht, aber elektrisch spricht dagegen. #00:29:55-5#

L: Genau, dann kannst du das schon irgendwie formulieren, in Worten. #00:30:03-1#

Maus/Elefant – Teil II: Grundumsätze einiger Tiere (Aufgabe 3)

S2: Ich hab‘ das jetzt gerade ausgerechnet. Ich hab‘ mir aus der Tabelle das Gewicht angeschaut und hier halt eingefügt, das heißt die Maus hat einen Grundumsatz von 130(..) Kilojoule. #00:30:18-0#

L: Mhm, also das war pro Gramm und dann hast du das mal 21. #00:30:31-0#

S2: Ja. #00:30:38-0#

L: Der Elefant hat... #00:30:38-0#

S2: 80 Megajoule. #00:30:41-5#

L: Ich schau kurz nach, ob das stimmt. Also, die Maus passt, beim Elefant komm‘ ich auf was

anderes. Da musst du mir noch einmal zeigen, wie du das gemacht hast. Also bei der Maus hast du 130 Kilojoule ungefähr, also das passt. Gut beim Elefant. Der Elefant hat einen Grundumsatz,- nein die Maus hat einen Grundumsatz, der ist 200-mal höher als der des Elefanten. [liest die Angabe noch einmal vor], also der von der Maus ist 200-mal höher als der des Elefanten. #00:31:30-7#

S2: Aso! #00:31:33-6#

L: Also das bezieht sich jetzt beides auf die Maus quasi, der von der Maus ist 65-mal höher als der vom Menschen und 200-mal höher als der vom Elefanten. #00:31:41-7#

S2: Ok. #00:31:44-4#

L: Also war das der Fehler vielleicht, ja? #00:31:45-4#

S2: Das heißt, das durch 200. #00:31:45-0#

L: Genau, weil das ist das, was die Maus hat und der Elefant hat quasi durch 200 das. #00:31:52-0#

S2: Achso, ok. #00:31:55-8#

L: Pro Gramm. #00:31:59-0#

Maus/Elefant – Teil II: Grundumsätze einiger Tiere (Aufgabe 3)

[Schüler arbeiten selbstständig] #00:32:32-0#

L: Hast du das jetzt schon mit der Masse vom Elefanten? #00:32:31-7#

S2: Ja. #00:32:36-7#

L: Kann ich das kurz einmal sehen? Das ist jetzt nur das pro ein Gramm, oder? #00:32:38-4#

S2: Das ist pro 1 Gramm. Das ist generell. #00:32:46-7#

L: Das ist für die Maus und für den Elefanten das pro ein Gramm, wo ist das bei dir? #00:32:49-4#

S2: 0,013. #00:32:52-1#

L: 5 kJ. Und das da: Mit was hast du das multipliziert? #00:32:59-5#

S2: Mit dem Körpergewicht vom Elefant. #00:33:03-8#

L: Das sind... #00:33:05-3#

S2: also, äh, 4 Millionen Gramm. #00:33:09-2# [rechnet] #00:33:33-8#

L: Ja, das schaut schon besser aus, das passt jetzt dann auch. Genau, super. Dann kannst du schon das nächste- Hast du das schon gemacht? Das hast du mit dem falschen gemacht, ok.

#00:33:46-5#

Nervenzelle – Teil I: Ruhezustand der Nervenzelle (Aufgabe 6)

S1: Ich weiß nicht ob der Satz so richtig- Die chemische Potentialdifferenz spricht jedoch für das Wechseln, da sich somit der Anteil der K^+ und Na^+ ausgleicht. Ich könnte noch Ionen dazuschreiben. #00:33:56-7#

Mhm: Mhm, das passt schon. #00:34:04-9#

S1: Ich weiß nicht, wie ich es anders formulieren sollte. #00:34:05-9#

L: Nein, das ist in Ordnung. [...] Gut und dann, ahm, wenn das jetzt eben so weitergeht, mit der Pumpe und dem Kalium-Kanal, dann ist es irgendwann mal so, dass die -70 mV erreicht sind. Also null geht ja nicht, das haben ja schon gesagt, weil- #00:34:30-3#

S1; -weil die Proteine und so nicht wandern können. #00:34:30-3#

L: Das heißt eine bestimmte Potentialdifferenz bleibt immer und das sind eben in dem Fall -70 mV und dann ist die Frage, was kann man zur Ladungsverteilung sagen? #00:34:47-8#

S1: Das Minus. #00:34:47-8#

L: Genau, also das Minus gibt an, wo ist es negativ? Innen oder außen? #00:34:58-5#

S1: Außen. [...] Dann innen. #00:35:01-7#

L: Dann innen. Ja [lacht], aber warum dann innen? #00:35:05-5#

S1: [lacht] Weil innen weniger negative Teilchen vorhanden sind als außen. #00:35:14-1#

L: Aber die sind fix, es schaut jetzt da so aus... Was haben wir denn vorher gesagt, bezüglich der elektrischen Potentialdifferenz? #00:35:33-8#

S1: Ähm [überlegt; lacht] das ist eine blöde Frage [lacht] #00:35:43-9#

L: [lacht] #00:35:49-6#

S1: Es ist gewollt, dass eine so geringe Spannung wie möglich vorhanden ist, das ist möglich, wenn die Teilchen ausgeglichen sind, positiv und negativ. #00:36:00-6#

L: Mhm. #00:36:00-1#

S1: Aber wie kommt dann die negative Spannung? #00:36:13-0#

L: Ja, probier's mit der Pumpe. #00:36:13-0#

S1: Weil innen nur Proteine und außen nur Chlor vorhanden ist. Weil die wechseln können und dadurch innen eine Potentialdifferenz ist. #00:36:25-3#

L: Aber was wechselt? #00:36:28-2#

S1: Natrium +, also die positiven. #00:36:31-8#

L: Und die wechseln aber nicht gleich, also quasi, wenn jetzt hier zwei und zwei wär, dann würde sich nichts ändern, von der elektrischen Potentialdifferenz, weil die negativen wären fix und wenn da auch immer zwei und zwei wechseln würden, dann würde sich von der elektrischen Potentialdifferenz her nichts ändern, aber dadurch, dass da immer drei nach außen kommen und zwei nach innen, wird das Innere negativer, weil da irgendwann einmal mehr positive sind. #00:37:07-6#

S1: Weil mehr rausgehen als rein. #00:37:07-6#

L: -und da irgendwann mal weniger. #00:37:10-3#

S1: Kann der Kanal von beiden Seiten wechseln? #00:37:16-7#

L: Ja. #00:37:20-2#

S1: Das heißt, ich soll schreiben, dass erstens einmal durch die Pumpe ungleiche Masse verteilt werden und dadurch im Inneren nach der Zeit immer weniger positive Ionen vorhanden sind. #00:37:27-0#

L: Mhm. #00:37:30-4#

S1: Und die Spannung kommt auch durch die chemische Potentialdifferenz durch das, dadurch her stammt, dass die negativen Teilchen nicht wechseln können. #00:37:40-1#

L: Genau. Also quasi, die minimale Potentialdifferenz kann nie erreicht - weil die negativen Ladungsträger nicht wandern können, genau und die -70 mV, das hast du eh richtig gesagt, die kommen daher, dass eben durch die Natrium-Kalium-Pumpe mehr positive Ladungsträger nach außen getragen werden als nach innen. #00:38:00-6#

S1: Mhm. #00:38:00-6#

L: Dadurch ist das Innere dann verhältnismäßig negativer geladen. #00:38:04-7#

S1: Wenn dann aber innen weniger positive sind, warum gehen die dann von außen nicht wieder nach innen, dann wäre das Verhältnis vielleicht passender? #00:38:05-4#

L: Also, die bewegen sich quasi solange, bis die elektrische und die chemische Potentialdifferenz ausgeglichen sind. #00:38:22-2#

S1: Möglichst gering. #00:38:22-9#

L: Genau, möglichst gering und bis die gleich groß sind, also bis quasi die Verteilung her von den Ionen gleich ungleich, also quasi, genauso ungleich ist wie die Verteilung der elektrischen Ladungsträger. Die pumpt so lange, bis die elektrische Differenz, also zwischen innen und außen #00:38:47-3#

S1: -sich entsprechen. #00:38:49-1#

L: -genauso groß ist wie die chemische Differenz, die dadurch zustande kommt, dass eben die negativen Ladungsträger nicht wandern können. #00:38:56-6#

S1: Heißt das, und das ist eine Spannung dann. #00:38:56-7#

L: Genau. #00:38:58-4#

S1: Sind die -70 mV bei beiden oder ist das zusammengerechnet? #00:39:02-6#

L: Also das Innere ist im Vergleich zum Äußeren um -70 mV negativer. #00:39:11-8#

S1: Ah ok. #00:39:15-9#

L: Kannst du das formulieren? In deinen Worten. #00:39:28-2#

Maus/Elefant – Teil II: Grundumsätze einiger Tiere (Aufgabe 4)

S2: Also... #00:39:32-6#

L: Wie hast du's denn gemacht? #00:39:33-0#

S2: Den 0,1 MJ, also den Grundumsatz, ist halt 0,1 MJ und wenn in kg Gras 6 MJ enthalten sind, rechnet man 6 dividiert durch 0,13 und diese Zahl dividiert durch 1, also 1 dividiert durch diese Zahl. #00:39:56-9#

L: Mhm. Du musst jetzt ja quasi berechnen, ähm, wie viel müsste der Elefant fressen (...), also nein, das musst du eh nicht, ich war schon beim nächsten (lacht). Also 1 kg hat 6 MJ, genau, wie viel muss er fressen, um seinen Grundumsatz zu decken? #00:40:22-7#

S2: 0,21 #00:40:24-8#

L: 0,21 und das sind 130.000 kJ und schreibst du da noch einmal die 130.000 kJ hin. #00:40:40-0#

S2: Soll ich's da hinschreiben? #00:40:44-8#

L: Aber das sind nicht 0,13 MJ. Schreib mir mal 130.000 kJ hin. #00:40:48-8#

S2: Ok. Dann schreib ich das hierhin. #00:40:55-7#

L: Das sind nämlich schon Kilojoule. Weißt du, wie viele Kilojoule ein Megajoule sind? #00:41:03-2#

S2: Also, ich weiß, dass ein Megajoule, 1 Million Joule sind. #00:41:09-3#

L: Aber ein Megajoule sind nur 1000 Kilojoule. #00:41:16-0#

S2: Ich hab' nämlich nachgeschaut, wie man das umrechnen soll. #00:41:20-0#

L: (lacht) Ok. #00:41:22-2#

S2: Das heißt, 130 Megajoule. #00:41:25-7#

L: Genau. #00:41:26-1#

S2: Ach so. #00:41:31-3#

L: Dann passt's. Wie gesagt, das ist wie bei den Datenmengeneinheiten, mit Kilobyte, Megabyte... Kilo ist immer 1000, Mega ist eine Million. (...) Genau, das schaut schon besser aus. #00:41:52-6#

S2: Soll ich...? #00:41:52-6#

L: Ja, es ist eh dasselbe, das Komma müsstest du halt verschieben... Also, 22 kg Gras müsste der Elefant fressen. In Wahrheit müsste er natürlich viel mehr fressen, da müsste er über 100 kg fressen, weil er das Gras nicht vollständig verwerten kann, also er kann es nicht verdauen. Und dann ist die Frage, wie viel müsste er fressen, wenn er nicht den Grundumsatz von den 130 kJ hätte, sondern den Grundumsatz von der Maus... #00:42:26-5#

S2: 6,5-mal sein Gewicht und dann ist das der Grundumsatz von... #00:42:38-5#

L: ...von ihm, wenn er so wäre wie die Maus. Und dann ist noch die Frage, wie viel müsste er dann fressen, um den zu decken? #00:43:15-7#

[Schüler arbeiten selbstständig] #00:43:28-9#

Nervenzelle – Teil II: Zelle empfängt Reiz (Aufgabe 1)

S1: Ich versuch grad, mir das vorzustellen... #00:43:26-9#

L: Ok. Also dadurch, dass in der Natrium-Kalium-Pumpe ungleiche Massen transportiert werden, sind am Ende weniger positiv geladene Teilchen im Inneren als im Äußeren. Außerdem können die Chlor und Proteine nicht wechseln, weshalb die chemische Potentialdifferenz nur durch Natrium und Kalium bis zu einem gewissen Grad beeinflusst werden [Schülerantwort vorgelesen] Mhm. Genau. Und eben, das, was eh da steht, dass sich die [unverständlich], aber das steht schon in der Angabe, das heißt, das musst du nicht nochmal aufschreiben. Das passt, dann kannst du mal umblättern. #00:44:06-5#

S1: [blättert um) #00:44:06-5#

L: Das ist jetzt nur kurz, also wenn die Zelle einen Reiz empfängt, also bis jetzt war alles noch im Ruhezustand, also wenn die Zelle äh, nicht gereizt ist. Wenn die jetzt einen Reiz empfängt, zum Beispiel eben, einen Seh- also einen Lichtstrahl oder wenn man eine heiße Herdplatte angreift, oder was auch immer, wenn sie einen Reiz empfängt, der stärker ist als -40 mV, also der diesen Schwellenwert überschreitet, dann wird er von der Zelle registriert, also dann nimmt sie den an. Wenn der Reiz zu schwach ist, dann wird er ignoriert, wenn er stark genug ist, dann wird er registriert, und dann öffnen sich diese geschlossenen Natrium-Kanäle. #00:44:44-8#

S1: Das wäre meine Frage gewesen. Was ist, wenn das ausgeglichen wäre, wäre das einmal in einem gewissen Zustand, der sich nicht mehr ändert? (...) Also, wenn sich der Kanal nicht

öffnen würde, das wollte ich fragen... Aber das hat sich erledigt, deshalb... #00:45:07-0#

L: Mhm. (lacht) Also der öffnet sich dann, in der Zwischen- ist der, also der verschließt sich dann in der Zwischenzeit, aber das ist ein bisschen so eine Kettenreaktion. Das ist für uns zwar nicht so wichtig, aber quasi, wenn die Zelle gereizt wird, wird als erstes einmal nur der Natrium-Kanal geöffnet. Der Kalium Kanal ist dann derweil geschlossen, weil die Kanäle reagieren quasi auf diese Spannungsänderung und ähm, wenn die eben diese Spannungsänderung bemerken, diese -40 mV, dann reagieren eben zuerst die Natrium-Kanäle und öffnen sich. Und jetzt ist dann die Frage, wie werden sich die Natrium-Ionen verhalten? Also, quasi, was spricht dafür und was spricht dagegen, also das ist jetzt wieder so ähnlich wie zuvor bei den Kalium-Ionen, dass die jetzt diesen Kanal auch nutzen, also dass die da durchgehen? #00:45:58-8#

S1: Es ist umgekehrt. Also elektrisch ist, dass die Natrium-Ionen nach innen wandern, da die elektrische Potentialdifferenz ausgeglichen werden sollte und deshalb innen weniger vorhanden sind als außen. Aber chemisch ist, dass sie halbwegs angeglichen sind durch die Pumpe. #00:46:23-2#

L: Auch nicht ganz, weil da kommen dann auch immer mehr Natrium nach außen. #00:46:26-2#

S1: Ich dachte, das ist gerade der Reizzustand, also die Pumpe läuft grad nicht. #00:46:35-9#

L: Ja, die läuft eh nicht, aber wenn der Ruhezustand quasi hergestellt ist, dann sind im Äußeren schon mehr positive Ladungsträger, trotzdem. Weil es werden immer von innen drei rausgenommen. #00:46:50-1#

S1: Mhm. Und deshalb wollen die raus, also wieder rein, damit die elektrische Potentialdifferenz möglichst gering ist. #00:47:01-7#

L: Genau. Und was ist mit der chemischen? #00:47:07-3#

S1: Dann sind die aber wieder vermischt. Das heißt, die chemische ist dann bis zu einem gewissen Grad vermischt, als sie sich vorher angeglichen hat. #00:47:21-2#

L: Ja, überlegen wir mal... Wo sind jetzt mehr Natrium-Ionen? Innen oder außen? #00:47:25-5#

S1: Außen. #00:47:29-0#

L: Außen, genau. Und wann ist die chemische Potentialdifferenz minimal? #00:47:34-2#

S1: Wenn gleich viel Natrium und Kalium außen und innen vorhanden sind. #00:47:38-4#

L: Genau, das wär' zum Beispiel minimal, also wenn da gleich viele Natrium und Kalium wären und da gleich viele. #00:47:46-5#

S1: Das heißt, Natrium möchte trotzdem auch durch die chemische Potentialdifferenz auch nach innen. Spricht jetzt da etwas dagegen, nicht, oder? #00:47:56-4#

L: Nein, wie du gesagt hast, spricht eigentlich nichts dagegen. Also das ist jetzt eigentlich, die Fragestellung ist jetzt so formuliert: Spricht etwas dagegen... aber in dem Fall, haben wir gerade

besprochen, spricht es eigentlich nur dafür. Sowohl um die elektrische Potentialdifferenz zu minimieren, als auch, um die chemische Potentialdifferenz zu minimieren, wandern die da durch genau. #00:48:20-1#

S1: Ja. #00:48:20-1#

L: Das kannst du jetzt schon formulieren. #00:48:20-1#

Maus/Elefant – Teil II: Grundumsätze einiger Tiere (Aufgabe 5+6)

L: So. #00:48:32-3#

S2: Also bei kleinen Tieren ist der Grundumsatz im Vergleich zu ihrem Körpergewicht ziemlich hoch und bei großen Tieren ist es genau umgekehrt, also der Grundumsatz ist ziemlich niedrig, im Vergleich zu ihrem Körpergewicht. #00:48:41-8#

L: Mhm, genau. Das heißt, was heißt das praktisch für die Tiere? #00:48:49-0#

S2: Wenn sie größer sind, müssen sie weniger essen. #00:48:50-3#

L: Genau, im Verhältnis zu ihrer Masse weniger essen. Und kleine Tiere müssen im Verhältnis zu ihrer Masse mehr essen. Passt. #00:49:02-9#

Maus/Elefant – Teil III: Verhältnis zwischen Körperoberfläche und Volumen verschiedener Tiere (Aufgabe 7)

S2: Ich hab' hier eine Frage. Der Durchmesser ist 3,4 Quadratzentimeter. Der Durchmesser ist doch eine Linie. #00:49:07-3#

L: Ja, das ist blöd, das ist Fußnote von da. Also du kannst den 2er auch durchstreichen. Also ja, das stimmt schon, der ist nur 3,4 cm. #00:49:19-6#

S2: Ach so. Das heißt der Durchmesser des Körpers [...] also, wenn man jetzt, wenn die Maus zu Beispiel ein Kegel wär' oder zum Beispiel, wenn die Maus jetzt diese, äh, Linie ist.... #00:49:36-6#

L: Also wir nehmen's jetzt als rund an. Also was wär' das dann für ein Körper? #00:49:39-0#

S2: Kegel, also nein ein Zylinder. #00:49:46-3#

L: Wir nehmen's als ganz optimal an, wir sagen, es wär' eine Kugel. Ich mein, ich weiß, eine Maus ist keine Kugel, aber, wir nehmen's jetzt mal an für die Berechnung, dass es eine Kugel wär. #00:50:00-0#

S2: Ok. #00:50:04-9#

L: Ich schau jetzt noch einmal, was dein Ergebnis vorher war, irgendwas über 4000 kg, gö? #00:50:07-4#

S2: Äh, bei der 5. Aufgabe? 4333. #00:50:16-5#

L: Mhm. [...] Kennst du die Formel für die Oberfläche von der Kugel? #00:50:25-2#

S2: Nein. #00:50:26-8#

L: Ok, also für die Oberfläche von der Kugel sind es 4 mal Pi mal r Quadrat (...) und für das Volumen $\frac{4}{3}$ mal r hoch drei mal Pi. (...) Genau. Also das sind die Formeln. #00:51:20-4#

#00:51:20-7#

#00:51:21-4#

Nervenzelle – Teil II: Zelle empfängt Reiz (Aufgabe 2)

L: Bist du schon fertig? (liest sich die Antwort durch) Passt. Also das ist jetzt die Vermutung, also numerisch heißt, wie sich eben der Zahlenwert, quasi der Potentialdifferenz verändern wird, wenn die Zelle den Reiz empfängt. Zunächst sind es -70 mV. #00:51:38-2#

S1: Dann ist es [überlegt], es stand, wenn es den Zahlenwert von -40 mV überschreitet. #00:51:52-6#

L: Den genauen Zahlenwert kannst du jetzt nicht angeben, es geht nur darum, quasi, ob sich die Potentialdifferenz vergrößert oder verkleinert, das kann man auch fragen. #00:52:03-1#

S1: Ich sag, dass sie sich... #00:52:14-4#

L: Also, wenn jetzt die Natrium-Ionen wandern, wie wir besprochen haben. #00:52:14-7#

S1: Das ist ein Kreislauf, oder? #00:52:18-4#

L: Ja schon, also wenn jetzt eben die Zelle da den Reiz empfängt, dann ist es dann so, der Natrium-Kanal öffnet sich, die wandern da durch, später verschließt sich der wieder und der Kalium-Kanal öffnet sich wieder und der Ruhezustand stellt sich wieder genauso her wie vorhin, also ja, es ist ein Kreislauf. #00:52:37-5#

S1: Wenn es jetzt... es ist wahrscheinlich falsch, aber... Wenn sich jetzt der Natrium-Kanal öffnet, sie wollen das ausgleichen insgesamt, aber wenn sich das ausgleicht, dann würde sich das ja nicht weiter... irgendwann einmal nicht... kann es sein, dass er größer wird, obwohl die positiven Ladungsträger das ausgleichen, damit, wenn es sich wieder im Ruhezustand befindet, dass wenn sich der Kalium-Kanal öffnet, es wieder in den Zustand oder halbwegs in den Zustand in den Zustand zurück wird, dass es dann wieder positiv wird? #00:53:13-1#

L: Wie meinst du, dass der größer wird?

S1: Es ist unlogisch. #00:53:30-3#

L: Denk wieder daran, was passiert, wenn die Natrium-Ionen wandern. #00:53:36-2#

S1: Gleicht es sich aus. #00:53:39-7#

L: Wie sich da die Potentialdifferenz verändert, sowohl die elektrische als auch die chemische in dem Fall. #00:53:43-6#

S1: Sie wird kleiner. Weil immer mehr positiv geladene Teilchen sind, können sich die positiven Ladungen ausgleichen, das heißt, außen und innen gleich viel ca. Und chemisch auch, da eben die Natrium-Teilchen aufgeteilt sind innen und außen. #00:54:01-3#

L: Mhm. Genau. Das heißt, man könnte sagen... #00:54:06-1#

S1: Es wird um einen gewissen Grad kleiner. #00:54:07-8#

L: Genau, also die Antwort wäre, also, im Prinzip könnte man sagen, die Potentialdifferenz verringert sich oder verkleinert sich. #00:54:15-4#

S1: Wenn sie sich verkleinert, ist sie irgendwann an einem Punkt, wo sie sich nicht mehr verkleinert kann? Was passiert dann aber, wenn sie wechseln? #00:54:29-9#

L: Bei den Kanälen ist es so, die sind nur eine ganz kurze Zeit aktiv, also der Natrium-Kanal nur 1-3 ms, das heißt, es können nur so lange die Natrium-Ionen durch, solange dieser Kanal überhaupt geöffnet ist. Trotzdem ist es aber in Wahrheit so, dass eigentlich da so viele Natrium-Ionen durchfließen, weil eben, aufgrund der elektrischen und der chemischen Potentialdifferenz sie das machen, dass es sogar kurzzeitig zu einem sogenannten "overshoot" kommt, also da gleicht sich die Potentialdifferenz sogar so stark aus, dass sie kurzzeitig ins Positive geht, also, dass das Innere, das eigentlich negativer geladen ist, kurzzeitig positiver ist, und dann verschließen sich die aber wieder, dann öffnen sich die Kalium-Kanäle und dann stellt sich das alles wieder her. #00:55:15-5#

S1: Ok, das dreht sich dann um einen gewissen Wert rum immer wieder, auf und ab. #00:55:21-3#

L: Genau, diese Werte sind eben auch dadurch geregelt, dass die Natrium-Kanäle nur einen kurzen Zeitraum geöffnet sind und dadurch grenzt sich das ein bisschen ein, wie sich die Spannungen verändern können. #00:55:31-6#

[Schüler schreibt Antwort nieder] #00:56:21-0#

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Infotext 3 + Abbildung 2)

L: Also, jetzt ist es so, dass man die Nervenzelle, deswegen machen wir das auch in Physik, quasi auch mit physikalischen Bauteilen beschreiben kann. Es ist ein bisschen eine vereinfachte Beschreibung, aber man kann das machen und dafür braucht man, das Bauteil zeig ich dir gleich, das ist der Kondensator, den du wahrscheinlich noch nicht kennst. #00:56:50-1#

S1: Nein, wir haben damit noch nicht viel gearbeitet. Das haben wir einmal in NaWi gemacht oder zweimal. #00:56:54-7#

L: Ok, macht nichts. Also ein Kondensator sind zwei, besteht aus zwei Leitern, zwei elektrischen Leitern, die getrennt sind durch so eine isolierende Schicht, das ist jetzt das Dielektrikum, da findet keine Stromleitung statt. Die verhindert quasi, dass die, dass der Strom von der einen Seite zur anderen Seite bewegen kann. Und im Ruhezustand sind diese Platten eben ungeladen. Wenn man den Kondensator, also dieses Bauteil aber mit einer Gleichspannungsquelle verbindet, dann es ist ja so, dass bei einer Gleichspannungsquelle gibt

es einen Pluspol und einen Minuspol #00:57:41-9#

S1: Mhm. #00:57:41-9#

L: Und das heißt, die eine Platte erhält die negativen Ladungsträger vom Minuspol, die können aber da nicht durch, weil da ist die isolierende Schicht und auf der anderen Seite, die ist mit dem Pluspol verbunden, das heißt, da kommt es dann zu so einem Ladungsungleichgewicht. Also, die eine Seite erhält mehr Ladung als die andere. #00:58:05-4#

S1: Soll das das darstellen? Dass das dann das Dielektrikum ist? #00:58:08-2#

L: Ja, also wir kommen da jetzt eh dazu, genau. Also man kann auch sagen, dass das hier auch wie ein Kondensator funktioniert, also die Nervenzelle und das ist eben diese isolierende Schicht, die Membran. #00:58:20-1#

S1: Mhm. #00:58:23-5#

L: Wie gesagt, da kann man eben, wenn man es mit der Gleichspannungsquelle verbindet, kann man den aufladen. Und wenn der dann geladen ist, kann man die Spannungsquelle entfernen, also abstecken zum Beispiel, und der bleibt dann auch geladen, also die Platten sind geladen und später mal kann man den Kondensator, wenn er geladen ist, als Spannungsquelle einsetzen, damit er die Ladung wieder abgibt. Dann kann ich den zum Beispiel mit einem Verbraucher, wie der Glühbirne verbinden. Und durch das Glühbirnchen quasi ist der Stromkreis geschlossen und dann gibt er seine Ladung wieder ab durch einen Stromfluss. #00:59:02-1#

S1: Also es speichert die Energie. #00:59:08-2#

L: Genau, es speichert die Energie für eine gewisse Zeit und kann sie dann, wenn der Stromkreis geschlossen wird, wieder abgeben. Jetzt versuch einmal, wir haben es eh schon ein bisschen gemacht, dass du die Bestandteile von der Zelle den Bauteilen, den elektronischen Bauteilen zuordnest, also, dass du überlegst, was könnte der Widerstand sein, was könnte der Kondensator sein, was könnte die Spannungsquelle sein bei der Zelle? #00:59:34-5#

S1: Mhm. #00:59:37-5#

L: Das ist jetzt vereinfacht dargestellt, es ist nicht ganz so einfach, wie wir das jetzt machen, Aber damit es nicht so kompliziert wird... Es ist auch so, die Zellmembran kannst du mit zwei Dingen verbinden und die Spannungsquelle, kannst du auch mit zwei Dingen verbinden, also vier Striche sollen es am Ende sein, könnte man auch sagen. #00:59:59-0#

Maus/Elefant – Teil II: Verhältnis zwischen Körperoberfläche und Volumen verschiedener Tiere (Aufgabe 8)

S2: Ich hab' das hier ausgerechnet. #01:00:01-2#

L: Mhm. So... Die Oberfläche von der Maus und das Volumen von der Maus... Ja das passt. #01:00:15-0#

S2: Und, wenn die Maus jetzt eine 100-mal so große Oberfläche hat, also wenn der Durchmesser 100-mal so groß ist, dann ist, weil hier ein Quadrat ist, ist das 100 mal 100, also 10000 Mal so groß. #01:00:30-2#

L: Ja. #01:00:30-2#

S2: Und hier... #01:00:34-7#

L: Ja, passt genau. #01:00:35-9#

Maus/Elefant – Teil II: Verhältnis zwischen Körperoberfläche und Volumen verschiedener Tiere (Aufgabe 9)

S2: Das hab' ich... Wenn die Maus ein im Vergleich zu ihrer Masse kleineres Skelett hat, dann braucht sie auch weniger Muskeln, um dieses Skelett zu bewegen. Weil das Skelett leichter ist. Und wenn sie weniger Muskeln hat oder schwächere Muskeln, verbraucht sie auch nicht so viel. Dann verbrauchen die Muskeln auch nicht so viel Energie. #01:01:01-6#

L: Aber die Maus braucht doch verhältnismäßig zu ihrer Masse mehr Energie? #01:01:06-5#

S2: Mhm, ja... #01:01:09-2#

L: Weil das widerspricht jetzt eigentlich dem, was du gesagt hast, weil die Maus braucht eigentlich mehr. Kannst du dir überlegen, was das Skelett für einen Beitrag leistet? #01:01:15-0#

S2: Achso vielleicht hat sie dann (...) vielleicht sind ihre Organe dann sind ihre Organe dann im Vergleich zu ihrer Masse größer, so, zum Beispiel wenn ihre Organe jetzt, wenn 5 % der Masse Skelett sind und 10, nein 15 % die Organe sind, und beim Elefant 30 % der Masse das Skelett sind und auch 15 % die Organe sind, dann hat's halt... #01:01:55-7#

L: Ja, also es geht schon in die richtige Richtung. Du musst dir einmal überlegen, was das Skelett für einen Beitrag leistet für den Grundumsatz. #01:02:03-0#

S2: Das stabilisiert den Körper von der Maus. #01:02:05-4#

L: Mhm, aber von der Energie her. Aber denk einmal darüber nach... Braucht das Skelett viel Energie oder braucht das wenig Energie? #01:02:20-7#

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Aufgabe 1)

S1: Es ist so blöd. Die Spannungsquelle... sind zwei. Und durch die Kalium-Kanäle und durch die Natrium-Kalium-Pumpe kann die ausgeglichen werden und kann sich da was ändern. Das heißt, ich würd' die Spannungsquelle mit den beiden hier verbinden. #01:02:33-7#

L: Genau. #01:02:32-6#

S1: Der Kondensator ist [...] schließt man an die Gleichspannungsquelle an den Kondensator an, so erhält er weitere Energie, solange er mit der Spannungsquelle verbunden ist [...] #01:03:19-6#

[Pause] #01:03:25-0#

S1: Dann wird die Zellmembran mit dem Kondensator verbunden... warum auch immer. #01:03:27-8#

L: Das passt eh, genau, weil die Membran ja auch quasi eben- sie ist einerseits der Widerstand, weil sie es trennt und andererseits sorgt sie auch eben dafür, dass auf den beiden Seiten die Ladung gespeichert bleibt. Also, wenn die Membran nicht da wäre, dann würd's auch keinen Speicher geben, weil dann würden sich die einfach ausgleichen, weil sie wandern könnten, wie sie wollen, also das ist in dem Fall- die hat halt eine Doppelfunktion und durch die Kanäle und die Pumpe wird die Spannung quasi überhaupt erst hergestellt, weil die eben so lange das bewegen, bis eben diese Ausgangsspannung, diese -70 mV vorhanden sind. Aber das hast du gut gemacht, auf jeden Fall. Kennst du so Schaltsymbole von Spannungsquelle und Widerstand? #01:04:11-4#

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Aufgabe 2)

S1: Ähm, das ist die Spannungsquelle... #01:04:24-2# [zeichnet Symbol]

L: Mhm #01:04:24-2#

S1: Widerstand... vielleicht würde es mir etwas sagen, wenn ich es sehe, aber auswendig nicht. #01:04:27-0#

L: Also der Widerstand ist ein viereckiges Kastl und die Spannungsquelle ist ein langer und ein kurzer Strich. #01:04:33-6#

S1: So? Die Spannungsquelle und der Widerstand ist... [zeichnet] #01:04:41-3#

L: Genau. Und dann kannst du dir einmal überlegen, eine Schaltskizze für- also eine ganz einfache Schaltskizze für den Ruhezustand und den aktiven Zustand, also das Erreichen des Ruhezustands und für dann, wenn der aktive Zustand kommt. #01:04:58-8#

S1: Von dem hier? #01:05:02-4#

L: Für die Nervenzelle, genau. Also, kannst du dir überlegen, was im Ruhezustand passiert und was im aktiven Zustand passiert. #01:05:10-0#

Maus/Elefant – Teil II: Verhältnis zwischen Körperoberfläche und Volumen verschiedener Tiere (Aufgabe 9)

S2: Jetzt hab ich's, glaub ich. Das Skelett braucht gar keine Energie, weil die Maus weniger Skelett hat sozusagen, dafür braucht der Rest des Körpers, also der Rest des Körpers mehr Energie. #01:05:25-5#

L: Ok. Ja, also das ist das, genau. Also das Skelett ist- Für den Stoffwechsel, die Atmung, die Organe, die Muskeln braucht alles Energie, aber das Skelett braucht eigentlich kaum Energie. Also, wenn der Skelettanteil hoch ist, ist der Prozentanteil auch hoch, muss eben hoch sein. Wie du eh gesagt hast, damit der Elefant sich selbst tragen kann. Der braucht aber fast keine Energie, deswegen passt das mit dem zusammen, dass der Grundumsatz des Elefanten verhältnismäßig niedriger ist. Du kannst das noch aufschreiben in Worten und dann [...] bist du im Prinzip schon fertig. #01:06:11-2#

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Aufgabe 2)

S1: Ist das damit gemeint? Dass der Ruhezustand der Widerstand in der Mitte ist? Und dann da der Verbraucher? #01:06:16-6#

L: Ja, also der Widerstand und der Verbraucher sind in dem Fall eh das gleiche... also die Lampe ist ein Widerstand und ein Verbraucher, also das ist quasi dasselbe. Was da jetzt fehlt ist der Kondensator. Der hat halt- also das ist dieses Zeichen da, der hat zwei gleich lange Linien und parallele Linien und eben die Anschlüsse und (...) das kannst du so lassen, der passt eigentlich eh, der aktive Zustand und im Ruhezustand braucht man noch den Kondensator, weil im Ruhezustand wird der geladen. Weil da lädt sich der Kondensator eben auf, damit eben diese Ausgangsspannung [...] hergestellt wird. #01:06:58-5#

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Aufgabe 3+4)

S1: Minuspol. Der Kondensator wird mit dem Minuspol... Das heißt, es muss auf der Seite sein, oder? #01:07:03-2#

L: Ja, es hängt jetzt davon ab- ich zeig dir das, wie man das dann anschließt. Wichtig ist dann, dass du quasi, da wo das plus steht, dass du das plus hier auch mit dem plus verbindest und da das Minus ist auch da mit dem Minuspol. [...] Passt, dann kannst du es eigentlich auch schon aufbauen... #01:07:32-4#

S1: Also, wir brauchen Gleichstrom und Gleichstrom ist DC. #01:07:36-7#

L: Genau, also das sind die zwei Anschlüsse. [...] Wir haben das eh schon vorher ausgetestet, dadurch ist es eh schon ziemlich aufgebaut. Das ist einfach eine Serienschaltung von den drei Dingen, also Spannungsquelle, Kondensator und [...] #01:07:53-0#

S1: [...] Verbraucher. #01:07:51-1#

L: Genau. #01:07:54-1#

S1: und Kondensator und die Spannungsquelle. #01:07:57-2#

[Experiment wird durchgeführt] #01:08:16-5#

S1: Das ist plus, das heißt, das geht da rein mit dem verbunden und das hier mit dem. #01:08:31-9#

L: Wir schließen das dann erst nachher an, weil wir müssen jetzt genau beobachten. Kannst schon aufdrehen. #01:08:37-8#

S1: Ich kann das Ding nicht bedienen. [...] Achso aufdrehen... #01:08:48-3#

[dreht das Gerät auf] #01:08:48-3#

L: Das habe ich dir auch zugetraut. Da stellen wir einmal 12 Volt ein, viel mehr überlegt das Lämpchen nicht [...] Jetzt genau beobachten...Schließ ma's dann an. Siehst eh? #01:09:04-5#

S1: Ja, kurz. #01:09:01-6#

L: Ganz kurz, das merken wir uns mal. Wir machen den aktiven auch gleich. Was musst du jetzt verändern, damit es der aktive Zustand ist? #01:09:14-0#

S1: Ich muss das hier abdrehen. #01:09:22-0#

L: Und dann? #01:09:24-8#

S1: Und dann würde ich das gleich da weg und das da weg... #01:09:40-2#

L: Was hast denn du da? [verweist auf die Schaltskizze] #01:09:39-6#

S1: Für den aktiven Zustand muss ich das hier weggeben, oder? Weil da ist der Kondensator drinnen. #01:09:49-9#

L: Ja, ist eine gute Überlegung. Also, quasi der Kondensator wird im aktiven Zustand... #01:09:58-8#

S1: die Spannungsquelle. #01:09:58-8#

L: Die Spannungsquelle. Also der entlädt sich dann jetzt. #01:10:02-3#

S1: [steckt um] #01:10:02-3#

L: Genau, gut wieder beobachten. [...] Wir schauen es noch einmal an. Das war's schon. Frage ist, beschreibe, was im Ruhezustand passiert ... #01:11:00-6#

S1: Ist halt, dass sich der Kondensator wie eine Art Akku die Energie speichert #01:11:05-8#

L: Genau, der lädt sich auf, und... #01:11:12-0#

S1: [...] speichert sie und gibt sie ab. #01:11:17-0#

L: Und das Lämpchen? #01:11:17-7#

S1: Dadurch, dass der Kondensator speichert, ist das Lämpchen nicht als Verbraucher tätig. #01:11:26-5#

L: Ja, das ist im Prinzip schon nicht so schlecht. Der Kondensator-bis der Kondensator quasi geladen ist, ist der Stromkreis aktiv, sodass das Lämpchen kurz leuchtet. Der Zeitpunkt, wo das Lämpchen leuchtet, ist genau die Zeit, die's braucht, bis sich der Kondensator lädt. Weil, wenn der nämlich geladen ist, dann ist die Spannung hier gleich wie die Spannung hier und dann fließt kein Strom mehr, weil der geladen ist und im geladenen Zustand fließt kein Strom. #01:12:00-1#

S1; Mhm. #01:11:58-5#

L: Das heißt, du könntest sagen, er lädt sich auf, das hast du eh gesagt, und das Lämpchen leuchtet kurz auf. In eigenen Worten kannst du es formulieren. #01:12:17-3#

S1: Der Kondensator lädt sich auf. Punkt. #01:13:06-3#

L: Das Lämpchen leuchtet #01:13:14-1#

S1: -kurz auf. #01:13:18-3#

L: Und für den aktiven Zustand beschreibst du es auch noch kurz, das haben wir jetzt schon gemacht. #01:13:26-7#

S1: Im aktiven Zustand wird der Kondensator zur Spannungsquelle und das Lämpchen dient dann als Verbraucher und somit gleicht sich die Spannung aus. #01:13:36-8#

L: Und warum leuchtet es wieder nur kurz? #01:13:35-7#

S1: Weil da nicht so viel Spannung ist. #01:13:45-0#

L: Genau, es leuchtet nur so lange, so lange sich der entlädt und der entlädt sich ziemlich schnell. #01:14:25-8#

S1: [schreibt Antwort nieder] #01:14:50-6#

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Aufgabe 5)

L: Was wäre, wenn man einen Kondensator mit einer größeren Kapazität, also statt 1000 Mikrofarad vielleicht 100.000 Mikrofarad nehmen würde? #01:15:02-2#

S1: Also, er kann mehr Spannung speichern und dadurch könnte das Lämpchen [...] länger [...] verbrauchen. Es würde länger brennen. #01:15:26-9#

L: Mhm. Und wenn man jetzt einen anderen, also einen größeren- #01:15:37-0#

S1: Es würde nur ganz kurz leuchten. #01:15:42-5#

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Infotext 4)

L: Je größer der Widerstand, desto weniger Strom, würde auch durchfließen, es wirkt mehr dagegen. Dann erkläre ich dir das mit der Kapazität. Das ist, die Einheit von der Kapazität, das ist eben dieses Farad, das ist dieses F und das ist Mikrofarad und die Kapazität gibt eben an, wie viel Ladung der Kondensator bei einer bestimmten Spannung speichern kann, das ist die Einheit. Und man kann für so eine Zellmembran, kann man die Kapazität berechnen, wenn man halt weiß, wie lang die Membran ungefähr ist, wie dick die ist und die hat die Form von so einem Hohlzylinder und dann kann man berechnen, wie groß die Kapazität ist [...] Da gibt's eben die Formel, die Kapazität ist [...] das sind eben zwei Konstanten, das ist die Konstante für die Biomembranen und dann gibt's noch dieses Epsilon 0, das ist die elektrische Feldkonstante, die hat auch einen bestimmten Wert. Dann braucht man noch die Fläche, die hängt eben davon ab, was für eine Form die Membran hat, in unserem Fall ist das ein Zylinder dann, und d ist eben der Abstand zwischen den Platten. #01:17:14-0#

S1: Der Durchmesser von der Membran. #01:17:12-2#

L: Genau. Da haben wir jetzt Angaben. Wir wissen, wie lange eine sehr lange Nervenzelle im Rückenmark ist, 1 Meter und wir wissen, welchen Radius der Hohlzylinder hat, den eben die Membran hat von den Maßen her und die Dicke [...] von der Membran. #01:17:57-6#

S1: Der Radius ist das hier und die Dicke ist [...] #01:18:08-9#

L: Der Plattenabstand der Membran. [...] Für die Formel ist eh ziemlich alles angegeben, nur der Flächeninhalt. #01:20:20-7#

S1: Kreisflächeninhalt ist das, was die Frau Professor gesagt hat r Quadrat mal π #01:20:34-2#
zu S2

L: Genau und das dann noch mal die Länge #01:20:41-4#

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Aufgabe 6)

[S1 und S2 berechnen die Kapazität der Membran] #01:22:17-1#

S1: 0,0000062 #01:22:35-7#

L: Habt ihr das jetzt schon multipliziert... #01:22:35-2#

S2: mit π . #01:22:35-2#

L: Ja, mit π und mit den 8,9 mal 10 hoch -12. #01:22:38-6#

S1: Nein. Das ist die Grundfläche mal 1 Meter. #01:22:45-6#

L: Das ist quasi der Gesamtflächeninhalt, die Oberfläche. #01:22:56-6#

S1: Und jetzt müssen wir das hier mal 8,5? #01:23:10-9#

L: Genau. #01:23:14-3#

S1: 559 Millionen... #01:23:23-4#

L: Ok, schauen wir mal und dann noch mal Epsilon rel, das ist drei und dann durch die Dicke, das sind jetzt die 5 mal 10 hoch -9. #01:23:50-0#

S1: 0,3. #01:24:08-2#

L: Na gut, ich tippe es mal ein. 2 mal π haben wir gesagt, dann mal r ... war 10 hoch minus 5 und mal 1 sparen wir uns [...] das habt ihr auch noch gehabt. #01:24:27-0#

S1: Genau. So weit waren wir. #01:24:31-5#

L: Dann kommt 8,9 mal 10 hoch minus 12 [...] dann das durch[...]. Ok, dann kommt das raus, das sind dann 0,000003... #01:25:10-4#

S2: Farad. #01:25:10-4#

L: Genau. [...] Noch Farad dazuschreiben. Gut, dann sind wir eh schon bald fertig, dann fehlt nur das Elektrische Feld. #01:25:50-5#

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Aufgabe 7)

S1: [liest die Angabe vor] E ist was? #01:26:22-1#

L: E ist die elektrische Feldstärke. #01:26:23-3#

S1: Und die elektrische Feldstärke ist das hier? #01:26:22-7#

L: Das ist jetzt die Kapazität, also das ist, wie viel Ladung pro Spannung es speichern kann, die Feldstärke gibt an, wie stark das elektrische Feld ist, das quasi ähm, die Membran generiert, quasi, wie stark das ist. #01:26:45-0#

S1: d ist die Dicke die da steht und U ist der Umfang? Ah... #01:27:00-1#

[S1 berechnet die elektrische Feldstärke] #01:27:21-8#

S1: 20.000.000? #01:27:24-5#

L: Ja, 20.000.000. Die Einheit sind Volt pro Meter. Das heißt, das ist eine extrem hohe Feldstärke. #01:27:36-2#

S1: Schreibt man's so? #01:27:33-8#

L: Mhm. Und dann können wir noch vergleichen, wie groß die Feldstärke im Vergleich zum Blitz ist. #01:27:50-7#

S2: Viel größer, aber man kann einen Blitzschlag auch überleben. #01:28:16-0#

S1: Ich soll jetzt sagen, ob das hier sehr groß oder sehr klein ist? #01:28:22-2#

L: Mhm, also wie verhält sich das zu dem, was du quasi ausgerechnet hast? #01:28:25-6#

S1: Zu dem? Eher klein. #01:28:28-0#

L: Mhm, ungefähr so. #01:28:32-1#

S2: 7mal so. #01:28:32-7#

L: Genau, so ungefähr das 7-fache. #01:28:42-9#

S1: Soll ich schreiben ungefähr das 7fache #01:28:45-9#

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Aufgabe 8)

L: Ja genau. Also, quasi, man könnte sagen, diese Zellmembranen sind mit einer extrem hohen Feldstärke aufgeladen, das liegt daran, weil der Raum so klein ist, auf dem die Spannung generiert ist. [...] Dann kommt noch die Denkaufgabe. #01:29:47-2# [S1 und S2 lesen Angabe]

S1: Es baut die Membranspannung ab. Kann das sein, dass das die beiden Kanäle öffnet oder schließt? #01:30:02-1#

L: Ja, könnte auch sein, dass es die Membran selbst zerstört. #01:30:04-8#

S1: Es kann sein, dass es die Membran zerstört, es kann sein, dass die beiden Kanäle geöffnet werden. Aber wenn sie sich ganz abbaut, muss sie sich ganz zerstören, weil sonst die Proteine und Chlor nicht wechseln können, das heißt, es zerstört offenbar die ganze [...] Soll ich das hinschreiben? #01:30:43-9#

L: Ja, schreib's mal so hin und dann überlegen wir uns, welche Auswirkungen das hat. [...] Warum ist das so gefährlich? Warum stirbt man? #01:31:21-6#

S2: Weil die Membranspannung abgebaut wird. #01:31:22-3#

L: Mhm. Und warum braucht man die? #01:31:43-5#

S2: Weil keine Teilchen mehr durch die Membran ausgetauscht werden können. #01:31:48-4#

L: Warum ist das wichtig? Warum ist es wichtig, dass es diese -70 mV am Anfang gibt. Weil, was wäre, angenommen das wäre 0, angenommen, die Spannung wäre 0 und dann kommt ein Reiz, sagen wir mal, wenn das jetzt 0 wäre, was wäre dann? #01:32:11-8#

S1: Die Zelle würde nicht reagieren. #01:32:11-8#

L: Die könnte gar nicht reagieren, genau. Das heißt, deswegen stirbt man auch so schnell. Die Zellen für die Herzmuskulatur, für die Atemmuskulatur, die reagieren dann alle nicht mehr, das Herz schlägt nicht mehr, die Lunge kann nicht mehr atmen. #01:33:16-1#

Feedback zur Aufgabenstellung

L: Wie war's? Hat es euch gefallen? War es schwer/leicht? War's interessant? #01:33:39-2#

S2: Also es war auf jeden Fall... #01:33:43-1#

S1: Es war zu verstehen, weil ich habe mir diese Texte immer durchgelesen, weil Sie haben nichts anderes gesagt, als was da drin stand, das heißt es kamen keine Infos rein, die nicht auch auf dem Blatt auch gegeben waren. #01:33:57-5#

L: Mhm. #01:34:01-0#

S1: Also es hat dem ganzen entsprochen. #01:34:03-7#

S2: Man muss halt einmal die Zusammenhänge zwischen den ganzen Zahlen und so erkennen. #01:34:09-3#

L: Mhm, bei dir war viel mit Zahlen. Und so von der Schwierigkeit, wie würdet ihr es einstufen? #01:34:20-1#

S2: Von 0 bis 10? #01:34:22-7#

L: Von mir aus von 0 bis 10. #01:34:22-7#

S1: 7 oder 8. Es ist machbar, aber man muss schon überlegen. #01:34:28-6#

S2: 7 oder 6. #01:34:38-3#

L: Wie findet ihr die Aufgabenstellungen sonst so? Also vom Themengebiet her? Von dem biophysikalischen? #01:34:48-2#

S2: Das [eigene Aufgabenstellung] mehr als das hier. #01:34:56-3#

S1: Ich weiß gar nicht, worum es da ging. #01:34:58-7#

L: Also da ist es darum gegangen, wie viel verschiedene Tiere fressen müssen, zum Beispiel, um ihren Grundumsatz zu decken und zu überleben. #01:35:14-7#

S2: Da muss man viel rechnen und da muss man viel denken. #01:35:15-1#

S1: Ich mag Logik-Aufgaben und so Sachen, wo man denken muss und wo das Rechnen nicht so ausschlaggebend ist. #01:35:43-3#

S2: Das kann ich mir nicht so gut vorstellen, weil das alles so winzig ist. #01:35:45-8#

S1: Aber ich finde, es war sehr interessant. Dass das farblich war [meint die Abbildung] war sehr hilfreich. Die Abbildung hat sehr geholfen, auch dass sie farblich war. #01:36:29-4#

L2: Das ist ja alles vom Vokabular nicht einfach. Es sind viele Worte. Hat es viele neue Worte gegeben? #01:36:41-4#

S1: Ich muss sagen, es ging. Der Satzaufbau war logisch. Die ganzen Fachwörter muss man vergleichen. Die Abbildung. Würde das nur dastehen und ich müsste das [...] es wird auch immer detaillierter, aber durch die Abbildung auch beschriftet ist und alles [...] #01:37:16-7#

L2: Welche Worte waren für dich neu? Kannst du da ein paar nennen? #01:37:20-2#

S1: Die Wortzusammenhänge. Also Ruhezustand der Nervenzelle, Membran, kenne ich die Worte schon, aber in dem Zusammenhang waren sie neu. Es war gar nicht so... Die Worte kennt man, aber den Zusammenhang nicht. #01:37:46-2#

L2: Und bei dir war es ein bisschen einfacher mit den Worten? #01:37:50-4#

S2: Ja, schon. #01:37:50-4#

L2: Der Grundumsatz ist vorgekommen. #01:37:50-4#

S2: Stoffwechselintensität, aber das ist leicht zu verstehen, man kann sich gut was darunter

vorstellen. #01:38:03-5#

L2: Und bei dir kommt einmal eine rationale Hochzahl vor, hoch $\frac{3}{4}$, das ist gegangen
#01:38:13-1#

S2: Ach so, ja, das hab' ich am Handy machen können. #01:38:32-4#

L2: Also, du konntest dich auf die Technologie verlassen? #01:38:37-8#

S2: Ja. #01:38:35-8#

S1: Es sind halt so Worte wie Potentialdifferenz, die man halt sonst nicht verwendet oder hört, die jetzt aber nicht unverständlich sind, wenn man so einen Text hat, der es nochmal erklärt, was es ist und wenn es einem nochmal erklärt wird. Es war sehr verständlich. #01:38:57-5#

Transkript der zweiten Akzeptanzbefragung zur Nervenzelle (6.8.2020)

Nervenzelle – Teil I: Ruhezustand der Nervenzelle (Infotext 1+ Abbildung 1)

L: Ok, ich erkläre dir jetzt mal den Ruhezustand einer Nervenzelle. Also, wir haben ja viele Zellen im Körper. #00:00:21-4#

S3: Mhm. #00:00:19-2#

L: Und die haben alle einen Zellkern und dann ein Zellinneres und ein Zelläußeres. #00:00:27-8#

S3: Ok. #00:00:26-6#

L: Und das, was da jetzt quasi abgebildet ist, das ist ein Teil vom Zellinneren- dass das da das Innere ist und dann ist da so eine Schicht und dann ist das Äußere. Und diese Schicht-das ist ein Ausschnitt von dieser Schicht- also die Lipid-Doppelschicht ist die Grenzschicht, die das Innere vom Äußeren trennt, und das ist ein Abschnitt von dem. Das ist das Innere, das ist das Äußere, das ist die Schicht, die das Innere vom Äußeren trennt. [...] Dann, im Zellinneren sind so geladene Teilchen drinnen, die nennt man Ionen. Also, wenn ein Teilchen eine Ladung hat, nennt man es Ion, im Äußeren gibt es auch Ionen, je nachdem, unterschiedliche Ionen, das sieht man da eh, es gibt Kalium, das sind die pinken, die sind positiv geladen, dann gibt's Proteine, das sind die hellblauen, die großen, die sind negativ geladen. Dann gibt's rote, das ist Natrium, die sind auch positiv geladen und Chlor, das ist negativ geladen, das sind die dunkelblauen. Und diese Ionen können durch die Schicht nicht durch. Also quasi, es kann jetzt kein Protein, durch die Proteinschicht wandern, zum Beispiel vom Inneren zum Äußeren durch die Schicht, weil die ist wie eine Widerstand, die lässt keine Teilchen durch. Dann gibt's aber so bestimmte Kanäle-also das ist der Kalium-Kanal und das ist der Natrium-Kanal, da können aber nur bestimmte Ionen durch, also durch den Kalium-Kanal können jetzt nur die Kalium-Ionen durch. #00:02:14-5#

S3: Ok und durch den Natrium nur die Natrium. #00:02:17-3#

L: Mhm. Die Proteine und die Chlor zum Beispiel können gar nicht wandern. Und dann gibt's noch diese Pumpe in der Mitte, die nimmt immer drei Natrium-Ionen von innen nach außen und gleichzeitig zwei Kalium-Ionen von außen nach innen in die Zelle. Die macht das immer wieder, die dreht sich so, könnte man sich vorstellen und immer drei Natrium von innen nach außen und zwei Kalium von außen nach innen und das geht immer so. Und da, bei den Kanälen können sie in beide Richtungen theoretisch. Da ist es nicht festgelegt, wie sie wandern müssen, bei der Pumpe aber schon. #00:02:56-5#

S3: Ok. #00:03:00-6#

L: Der Kalium-Kanal ist im Ruhezustand offen und die Pumpe arbeitet auch, aber wenn die Zelle ruhig ist, also wenn sie keinen Reiz empfängt, dann ist der Natrium-Kanal zu, also den gibt es zwar, aber der ist für uns derweil nicht wichtig, weil der ist jetzt noch verschlossen. #00:03:18-9#

S3: Ok, also nur wenn die Zelle halt aktiv ist, ist der Natrium-Kanal offen? #00:03:23-9#

L: Genau. #00:03:25-3#

S3: Ok. #00:03:27-7#

L: Das kommt dann später. Der öffnet sich dann, wenn die Zelle dann aktiv ist. [...] Sagst mir du das jetzt noch einmal zusammengefasst in eigenen Worten? #00:03:34-4#

S3: Im Ruhezustand [...] die Proteine und die die Chlor-Ionen sind negativ geladen, beide, und sie können nicht durch die Schicht durch. Bei den Kalium-Ionen und Natrium-Ionen ist es so, dass sie durch die Kanäle durchkönnen und bei der Pumpe ist es so, dass immer drei Natrium-Ionen auf die eine Seite kommen können und gleichzeitig zwei Kalium-Ionen auf die andere Seite und das passiert die ganze Zeit. #00:04:20-4#

L: Mhm. #00:04:20-4#

S3: Und im Ruhezustand ist der Natrium-Kanal zu. #00:04:27-2#

Nervenzelle – Teil I: Ruhezustand der Nervenzelle (Aufgabe 1)

L: Passt. Dann kannst du die zwei einmal durchlesen und wennst eine Frage hast [...] #00:04:37-8#

S3: Also die Ionen [...] Soll ich einfach mit plus minus? #00:04:43-7#

L: Ja, du kannst einfach die aufzählen, genau. #00:04:47-2#

S3: Ok, das heißt, es ist alles eigentlich [...] #00:04:52-7#

L: Du musst jetzt nicht jedes beschriften, du kannst einfach nur die verschiedenen nennen, die's gibt. #00:04:57-2#

S3: Ok, es gibt Kalium-Ionen und Natrium-Ionen. #00:05:07-9#

L: Mhm. [...] Und, was noch? #00:05:30-8#

S3: Ähm [überlegt] Das sind Anionen, oder? #00:06:10-9#

L: Ja, Anionen sind positiv geladen und die Kationen- #00:06:17-6#

S3: Kationen. #00:06:29-6#

Nervenzelle – Teil I: Ruhezustand der Nervenzelle (Aufgabe 2)

L: Dann kannst du mir noch sagen, welche wandern können und welche nicht. #00:06:50-9#

[Schülerin schreibt] #00:08:34-3#

S3: Ok. #00:08:34-3#

L: Liest du's noch einmal kurz vor? #00:08:34-3#

S3: Also, ähm, K⁺-Ionen können durch den K⁺-Kanal wandern, Na⁺ können durch den Na⁺-Kanal wandern, zusätzlich können immer Na⁺-Ionen in das Zelläußere gelangen und zwei K⁺-Ionen in das Zellinnere und das wechselt immer (durch die Pumpe). #00:09:07-7#

Nervenzelle – Teil I: Ruhezustand der Nervenzelle (Infotext 2)

L: Ok, dann erklär ich dir das zweite. Das ist immer noch der Ruhezustand. #00:09:13-6#

S3: Mhm. #00:09:16-5#

L: Und zwar, es ist so, dass die Teilchen hier eben alle eine Ladung haben, also jedes hat eine Ladung, entweder positiv oder negativ, je nachdem und was du wahrscheinlich eh schon weißt, aus der Schule, nehme ich mal an, gleichnamige Ladungen stoßen sich ab und ungleichnamige ziehen sich an, das heißt + und + zum Beispiel stößt sich ab und - und + zieht sich an, ja. Weil das so ist, sind die Ionen quasi bestrebt, dass sie sich ausgleichen. Also, wenn es zum Beispiel wär', dass jetzt hier im Inneren nur positive Ladungsträger wären- #00:09:54-2#

S3: Mhm. #00:09:54-2#

L: und hier im Äußeren nur negative, dann wär' eine sehr große, sogenannte Potentialdifferenz. #00:10:09-2#

S3: Ok. #00:10:09-2#

L; Das bedeutet, dadurch dass sich hier alle abstoßen und hier würden sich auch alle abstoßen, möchten sich die unbedingt ausgleichen, das heißt, positiv und negativ ziehen sich an und möchten sich vermischen, dadurch, dass sie sich anziehen würden. Ja, wenn es so ist, dass die Ladungsträger ungleichmäßig verteilt sind, dann gibt es eine sogenannte Potentialdifferenz. Die Differenz heißt jetzt, es gibt einen Unterschied zum Gleichgewichtszustand. Gleichgewichtszustand wär', wenn sie perfekt vermischt wären, wenn immer wär +-+--+ und oben auch +-+--+ zum Beispiel. Die Potentialdifferenz wäre 0, also es gibt eben keine, wenn es total ausgeglichen ist, wie ich gerade gesagt habe, wenn es immer abwechselnd ist zum Beispiel. Das wäre die elektrische Potentialdifferenz. Eben aufgrund von der Ladung gibt es eben eine Differenz, wenn die nicht ausgeglichen sind, wenn die irgendwie getrennt sind oder mehr plus auf der einen Seite und mehr minus auf der anderen Seite. Und dann gibt's noch die chemische Potentialdifferenz, das bedeutet, dass sich die Ionen auch ausgleichen möchten, unabhängig von ihrer Ladung. Also, jetzt nicht nur, dass plus und minus sich vermischen möchten, sondern, zum Beispiel, gäbe es auch eine große chemische Potentialdifferenz, wenn jetzt außen nur Natrium und Chlor wären und innen nur Kalium und Proteine, obwohl von den Ladungen her es ausgeglichen wär', aber dadurch, dass von der Sorte her sie getrennt sind, gibt es eine chemische Potentialdifferenz. #00:11:57-4#

#00:11:57-0#

S3: Ok. #00:11:57-0#

L: Und diese Potentialdifferenzen sind quasi der Motor oder der Antrieb, dass sich Teilchen bewegen. Also, die bewegen sich dann von einer Seite auf die andere oder von links nach rechts, je nachdem, wenn sie eine Potentialdifferenz ausgleichen möchten, also wenn sie sich irgendwie vermischen möchten, entweder aufgrund der elektrischen, oder aufgrund der chemischen oder beides. #00:12:23-3#

S3: Ok. #00:12:24-5#

L: Hast du irgendwelche Fragen zu der Erklärung? #00:12:24-5#

S3: Nein, also das war ziemlich gut erklärt. #00:12:28-3#

Nervenzelle – Teil I: Ruhezustand der Nervenzelle (Aufgabe 3)

L: Dann, kannst du dir einmal durchlesen... lies mal nur 3 durch, weil 4 geht dann so ähnlich. #00:12:45-4#

[Schülerin liest Angabe durch] #00:12:47-9#

S3: Ok, ich soll das jetzt grafisch darstellen. #00:12:50-8#

L: Genau. Wie eine Möglichkeit wär', dass die elektrische Potentialdifferenz minimal wär. Minimal heißt in dem Fall 0. #00:13:07-6#

S3: Ach so, ok. #00:13:12-3#

L: Und, das muss auch nicht realistisch sein, in dem Sinn, du kannst das jetzt ignorieren, ob sie wandern können oder nicht, sondern es ist nur theoretisch eine Möglichkeit, wie es aufgebaut sein könnte, dass die 0 wär'. #00:13:26-1#

S3: Ok. Also, ich kann jetzt einfach so eine Linie zeichnen... #00:13:34-9#

L: Genau, du kannst eine Linie machen, die ist dann die Membran.. #00:13:44-4#

S3: Ok, elektrische Potentialdifferenz... #00:13:46-5#

L: Jetzt geht es nur um die Ladungen. #00:13:50-4#

S3: Also, ich kann jetzt einfach so Kreise machen +,-. [zeichnet] Das ist ja ausgeglichen, oder? #00:14:05-3#

L: Ja, das reicht eigentlich schon. #00:14:07-4#

S3: Ok. #00:14:11-3#

L: In dem Fall ist es jetzt egal, welches jetzt Natrium ist und welches Chlor. Also, das ist nicht egal, welches Natrium und welches Kalium ist und welches Chlor und welches Protein ist, ist jetzt in dem Fall egal. Und, was sie noch machen würden. Die zwei wären noch vertauscht, weil die würden sich hier auch anziehen und abstoßen. Also hier das negative würd' in Richtung des positiven raufgehen [...] Aber sonst, passt das so, ja. #00:14:33-3#

S3: Ok. #00:14:36-2#

Nervenzelle – Teil I: Ruhezustand der Nervenzelle (Aufgabe 4)

L: Und jetzt das gleiche mit der Potentialdifferenz mit der chemischen. #00:14:52-1#

S3: Da muss ich jetzt nicht diese elektrische beachten, oder? #00:15:02-9#

L: Nein, eigentlich nicht, die ist jetzt egal. #00:15:07-7#

S3: Die sind jetzt alle positiv geladen. #00:15:07-6#

L: Naja, die anderen spielen schon auch eine Rolle, die negativen. #00:15:19-4#

S3: Also, soll ich die auch? Aber es ist ja, man hat ja Chlor, aber die kommen ja nicht durch. #00:15:30-9#

L: Genau, das ist jetzt nur eine theoretische Möglichkeit. Praktisch gesehen können sich die nicht ausgleichen. #00:15:41-8#

S3: Deswegen würd's jetzt keinen Sinn machen. #00:15:42-4#

L: Im Prinzip ja, was man da jetzt feststellen kann, eine chemische Potentialdifferenz von 0, die ist jetzt eigentlich nicht möglich, also in der Realität geht's nicht, weil die können nicht wandern, weil die sind zu groß, deswegen sind die auch ein bisschen größer dargestellt, die passen durch die Kanäle nicht durch, einfach, weil sie zu groß sind und deswegen müssen die auf ihrer Seite bleiben, die können nicht wandern, theoretisch gesehen, wäre die minimal, wenn sich die perfekt ausgleichen würden. #00:16:13-5#

S3: Ok. #00:16:16-8#

[Schülerin schreibt] #00:16:49-7#

Nervenzelle – Teil I: Ruhezustand der Nervenzelle (Aufgabe 5)

S3: Ok, also sie können ja eigentlich frei wandern, oder? #00:16:51-6#

L: Ja, sie können frei wandern. Und, sie brauchen eben einen Antrieb, dass sie wandern. Also die Frage ist jetzt... #00:17:05-7#

S3: Ach so... #00:17:05-7#

L: Weil,, quasi, von alleine bewegen sie sich nicht. Sie brauchen einen Grund, um zu wandern. Die Frage ist: Wollen sie (unter Anführungszeichen)? Würden sie wandern? Was spricht dafür, was spricht dagegen. #00:17:19-5#

S3: Halt, um die elektrische und chemische Potentialdifferenz auszugleichen. #00:17:27-2#

L: Im Prinzip ja. Wir müssen es halt noch detaillierter anschauen. Also, fangen wir mit der elektrischen vielleicht an... Wie ist da die Situation? #00:17:43-3#

S3: Also, wenn [überlegt] das positiver geladen ist als das, dann muss eines von denen rüber

wandern, damit das ausgeglichen ist. #00:18:06-9#

L: Genau, wie du richtig gesagt hast, wenn das Innere positiver geladen wäre, dann würden die Kalium-Ionen nach außen wandern, weil, damit sich das mehr ausgleicht. Zum Beispiel, das wäre ein Argument dafür, dass sie wandern. Jetzt ist die Frage noch, ob das Innere positiver geladen ist, als das äußere oder nicht? #00:18:30-7#

S3: [überlegt] #00:18:42-3#

L: Wovon könnte das abhängen? #00:18:42-8#

S3: Es hängt ja von den Proteinen ab und bei der Seite von den Chlor-Kationen. #00:18:58-2#

L: Die sind halt jetzt quasi fix. Was jetzt das Verhältnis zwischen Innerem und Äußerem verändern kann, ist, wie sich die positiven bewegen, ob hier mehr positive sind oder hier mehr positive sind. Und das hängt jetzt mit dieser Pumpe zusammen. Weil die Pumpe die erzeugt quasi so etwas wie ein Ungleichgewicht, weil da ja immer drei von innen nach außen, von der Ladung her gesehen, aber immer nur zwei positive von außen nach innen. #00:19:39-2#

S3: Ja. #00:19:39-9#

L: Und das ständig. Das heißt, man könnte sagen, ständig kommen drei positive von innen raus und zwei positive zurück rein. Das heißt jetzt, was schätzt du, wo werden mehr positive sein, wenn das jetzt immer so abläuft? Immer drei raus, zwei rein, drei raus, zwei rein, die ganze Zeit? #00:20:04-8#

S3: Hier, oder [deutet auf das Zelläußere]. #00:20:08-5#

L: Genau. Im Ruhezustand sind dann irgendwann mal hier viel mehr positive und hier weniger positive. #00:20:19-3#

S3: Und deshalb müssen sie zum Ausgleich rüber wandern. #00:20:23-3#

L: Nur, es ist so, dass da im Inneren sowieso schon mehr Kalium-Ionen von Haus aus sind. Ursprünglich ist es so, dass im Inneren Kalium-Ionen und Proteine sind und im Äußeren Natrium und Chlor. Und nur durch das Wandern verändert sich das. Theoretisch müssten die von außen nach innen. Dazu kommen die dann eh gleich... Aber fass das mal in Worte, nur in Bezug auf das elektrische. #00:21:24-9#

S3: Ok. Wegen der Pumpe, nach einer Zeit ist es hier mehr positiv, aber hier im Zellinneren ist die Mehrheit ja schon Kalium +, also und deshalb ist es halt [...] es ist nicht schlecht, aber, wenn noch mehr K⁺-Ionen reinkommen, ist es halt [...] #00:22:17-6#

L: Also, quasi, das spricht quasi dagegen, dass die Kalium-Ionen auch noch nach außen wandern. Also, quasi von der elektrischen Potentialdifferenz her könnte man sagen, gibt's keinen Grund, warum sie wandern würden. #00:22:33-0#

S3: Aber von chemischen Potentialdifferenz. #00:22:35-9#

L: Zu dem kommen wir dann noch, genau. Also, von der elektrischen spricht's dagegen, also wenn's nur die elektrische Potentialdifferenz gäbe, würden die wandern, weil wenn die wandern

würden, würden sie die elektrische Potentialdifferenz noch mehr vergrößern, weil dann würden noch mehr positive nach außen kommen und dann würd' der Unterschied zwischen innen und außen- #00:22:54-8#

S3: noch größer werden. #00:22:54-8#

L: Dann wär' das noch positiver und das noch negativer. Also, das könntest du irgendwie in einem Satz... #00:24:01-4#

[Schülerin schreibt] #00:25:02-2#

S3: Da wegen der Pumpe die zelläußere Schicht positiver geladen ist, würde das Wandern der K⁺-Ionen in die zelläußere Schicht die elektrische Potentialdifferenz vergrößern. #00:25:18-5#

L: Genau, super. Und jetzt noch die chemische Potentialdifferenz, die müssen wir jetzt auch noch abhandeln. #00:25:45-4#

S3: Wenn die K⁺-Ionen jetzt wandern würden, dann würde es die chemische Potentialdifferenz auch vergrößern, oder nicht? #00:25:58-2#

L: Schau ma mal. Die Frage ist jetzt mal, wo sind mehr K⁺-Ionen? #00:26:10-1#

S3: Hier. #00:26:13-2#

L: Ja. #00:26:13-2#

S3: Ok nein, wenn sie nach außen wandern, dann passt es ja. #00:26:21-4#

L: Genau, da sind jetzt mehr, weil eben da immer mehr K⁺ kommen da rein, das heißt irgendwann ist da mehr K⁺, das heißt von der chemischen her wär' das schon so, dass sie da zurückwandern würden, weil dann wär das mehr ausgeglichen, weil dann wären da nicht mehr so viele Kalium und da ein bisschen mehr Kalium. #00:26:46-1#

S3: Ok. [Schülerin schreibt Antwort nieder] #00:27:51-2#

L: [liest vor] Die K⁺-Ionen dürften in äußere Schicht wandern, da sich so die chemische Potentialdifferenz verringern würden. Jetzt, das 6., da sag ich nur noch einen Satz dazu, die wandern eben so lange, bis irgendwann einmal, die chemische und die elektrische Potentialdifferenz gleich groß sind. #00:28:12-1#

S3: Aber, das geht ja die ganze Zeit. Das wäre ja dann nur für einen kurzen Moment, oder? #00:28:20-8#

L: Man kann es sich so vorstellen, sobald das ausgeglichen ist, ist die Pumpe, hat die quasi dann auch keinen Antrieb mehr, deswegen bewegt sich die dann auch nicht mehr. Natürlich manches Mal- im Körper ist ja nie etwas perfekt, also es passiert manches Mal dann doch, dass irgendwie noch eines durchkommt und dann würd' sich die da trotzdem zwischendurch manchmal drehen, aber im Prinzip dreht sich die halt solange, bis das dann irgendwie ausgeglichen ist und die wandern auch so lange. #00:28:57-0#

S3: Ach so, ich dachte, die dreht sich durchgehend. Aber sie würde eigentlich stehen bleiben,

wenn es ausgeglichen ist. #00:29:13-3#

Nervenzelle – Teil I: Ruhezustand der Nervenzelle (Aufgabe 6)

L: Wenn das dann ausgeglichen ist, ist es immer noch nicht so, dass die Potentialdifferenz 0 ist, weil das geht ja nicht, weil die können ja nicht wandern, es bleibt immer eine Potentialdifferenz. Die chemische sowieso, weil die Proteine und die Chlor Ionen komplett getrennt sind und elektrische-es bewegt sich solange, bis die elektrische genau gleich groß ist. Dann sind quasi die Potentialdifferenzen im Gleichgewicht. #00:29:37-6#

S3: Ok. #00:29:40-7#

L: Und das ist genau bei ca. -70 mV. Das ist wie eine Spannung von einer Batterie, kann man sich das vorstellen. Wenn der Unterschied zwischen innen und außen genau -70 mV beträgt, dann ist es genau ausgeglichen zwischen chemischer und elektrischer Potentialdifferenz. Die Frage ist jetzt, was lässt sich hinsichtlich dieser Potentialdifferenz in Bezug auf die Ladungsverteilung sagen? #00:30:13-5#

S3: Ok, ich hab' die Frage nicht verstanden. #00:30:11-9#

L: Die Frage bezieht sich eigentlich auf das -. Was sagt das aus, dass das -70 mV sind? #00:30:30-8#

S3: Gibt's das überhaupt? #00:30:35-1#

L: + und - ist quasi je nachdem, gibt jetzt an, ob mehr positive oder mehr negative Ladungsträger auf einer Seite sind. Also, wo wären mehr negative Ladungsträger und wo wären mehr positive? #00:30:54-1#

S3: Ich glaub, hier wären mehr negative, weil, die sind ja auch größer und wegen der Pumpe. #00:31:02-4#

L: Weil da ja immer mehr positive reinkommen und da weniger, deswegen ist das da negativer. #00:31:05-8#

S3: Ja. #00:31:08-9#

L: Das heißt, wenn da jetzt steht, das sind -70 mV, dann wissen wir, das Innere ist um 70 mV negativer als das Äußere. #00:31:21-2#

S3: Ah, ok. #00:31:19-2#

L: -70 mV ist eben diese elektrische Potentialdifferenz zwischen innen und außen. #00:31:27-9#

S3: Ok. #00:31:31-3#

L: Das heißt, das Innere hat um -70 mV mehr negative Ladungsträger könnte man sagen. Du kannst das irgendwie in deinen eigenen Worten aufschreiben, was das bedeutet, dass das -70 mV sind. #00:31:51-5#

S3: Nur, damit ich's verstanden hab: Es bedeutet, dass das um -70 mV negativer ist, also die

zellinnere Schicht, und das kann ich dann hinschreiben. #00:32:12-0#

L: Ja, das passt. #00:32:16-7#

[Schülerin schreibt Antwort auf] #00:32:51-0#

Nervenzelle – Teil II: Zelle empfängt Reiz (Aufgabe 1)

L: Jetzt kommt dann die Aktion. Also, wenn jetzt ein Reiz kommt, also könnte man sagen, wenn ein Lichtstrahl eben aufs Auge trifft zum Beispiel, wär' das ein Reiz oder, wenn man auf eine Herdplatte greift, dann registriert das die Zelle quasi. Die schickt dann ein Signal ans Gehirn, einen Sinneseindruck wie "es ist heiß" oder "es ist hell". Und wenn eben-dafür muss eben dieses Signal stark genug sein. Wenn es zu schwach ist, wird es einfach ignoriert, dann nimmt es die Zelle einfach nicht wahr. Aber wenn's -70 mV überschreitet, das ist quasi der Schwellenwert, ab dann registriert die Zelle den Reiz. Was dann passiert- #00:33:40-2#

S3: Da steht jetzt -40. #00:33:38-0#

L: Ja, stimmt -40. -40 mV, wenn die quasi überschritten werden, dann öffnen sich diese Natrium-Kanäle, von denen wir ganz am Anfang geredet haben, dass die ja zu waren. #00:33:55-5#

S3: Ah, ok. #00:33:55-5#

L: Und die, wenn dieses Signal ankommt und die -40 mV überschritten, dann öffnen sich automatisch diese Natrium-Kanäle. Das heißt, dann sind die aktiv, die anderen, muss man sich jetzt vorstellen-der Kalium-Kanal ist dann nicht mehr aktiv. #00:34:18-2#

S3: Und dann ist eben nur der Natrium-Kanal. Ist immer nur ein Kanal aktiv? #00:34:22-2#

L: Ja. Der Kalium-Kanal kommt später schon wieder ins Spiel, der Natrium-Kanal ist nur für 1-3 ms aktiv, extrem kurz, dann macht der wieder zu und dann öffnet sich wieder der Kalium-Kanal und der stellt dann wieder den ursprünglichen Ruhezustand her, nachdem das Signal gekommen ist. Das Signal kommt, das öffnet sich und reagiert und wenn das dann vorbei ist, dann öffnet sich wieder der Kalium-Kanal und macht wieder den Ruhezustand, damit die Zelle wieder bereit ist für den nächsten Reiz, der kommen könnte. Die öffnen sich und dann ist die Frage, was die Natrium-Ionen jetzt machen. Also der ist jetzt offen und das ist jetzt quasi wie vor bei den Kalium-Ionen die Frage, was dafür und was dagegen spricht, ob die diesen Kanal jetzt nutzen. #00:35:21-6#

S3: Also ein Antrieb wäre zum Beispiel, um die chemische Potentialdifferenz auszugleichen-zu verringern. Aber halt [überlegt] Das ist negativer geladen und dann würden sie auch rüberwandern, um die elektrische Potentialdifferenz auszugleichen. #00:35:49-1#

L: Mhm, genau, es spricht beides dafür. #00:35:51-7#

S3: Ok. [Schülerin schreibt Antwort auf]. #00:37:12-8#

Nervenzelle – Teil II: Zelle empfängt Reiz (Aufgabe 2)

L: [liest die Antwort] passt super. Dann ist die Frage, wie sich dann der Wert von der Potentialdifferenz verändert. Lies dir mal die Frage durch, die ist glaub ich ein bisschen schwerer zu verstehen. #00:37:39-9#

S3: Der numerische Wert, ist damit das gemeint? #00:37:46-9#

L: Der numerische Wert ist der Zahlenwert, also wie sich der verändert, weil ursprünglich haben wir -70 gehabt. #00:37:51-1#

S3: Der Zahlenwert würde sich verringern. #00:37:55-7#

L: Genau. #00:37:55-7#

S3: Ja, weil es wird mehr ausgeglichen. #00:38:26-3#

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Infotext 3 + Abbildung)

L: Jetzt kommt der Kondensator. Weißt du, was ein Kondensator ist? #00:38:27-2#

S3: Nein. #00:38:30-7#

L: Ok, also, ein Kondensator besteht im Prinzip aus zwei Platten, die elektrische Leiter sind, also Metallplatten zum Beispiel, die den Strom leiten. Und dazwischen gibt es eine Schicht, die nicht leitet. Das ist diese unterbrochene-, dieser Raum, das ist ein Isolator dazwischen, der den Strom nicht leitet und eben die zwei Platten. Und im nicht geladenen Zustand, wenn dieses Bauteil nicht in einen Stromkreis eingebaut ist, dann sind jetzt auf den beiden Platten gleich viele Ladungsträger, dann ist die ungeladen, ist einfach- #00:39:41-6#

S3: Neutral. #00:39:41-6#

L: Genau. Und wenn man jetzt aber eine Gleichspannungsquelle anschließt, dann hat die einen Pluspol und einen Minuspol, das heißt, von der einen Seite wandern die Elektronen und dann wird die Seite, die mit dem Minuspol verbunden ist, aufgeladen, weil da kommen die Elektronen her. Aber da kann's nicht durch und sie müssen da quasi stehen bleiben und die andere Seite wird nicht mehr geladen. Dadurch entsteht eben ein Ladungsunterschied. Weil die andere Seite wird eben durch den Minuspol geladen, aber die andere Seite vom Pluspol wird nicht geladen. #00:40:27-3#

S3: Ja. #00:40:26-0#

L: Weil nur die Elektronen wandern. Wenn man die Spannungsquelle wegnimmt, bleibt der geladen. Also, quasi der speichert die Ladung. Man nimmt das weg und dann sind trotzdem auf der Seite mehr Elektronen als auf der Seite. #00:40:42-3#

S3: Ok. #00:40:45-0#

L: Das ist dann ein sogenannter Ladungsspeicher, so ein Kondensator. Den lädt man auf mit einer Gleichspannungsquelle, dann hat er die Ladung gespeichert und auch wenn man die Spannungsquelle weggibt, ist sie immer noch da. Und dann später, kann man den zum Beispiel ohne Spannungsquelle, also nur den Kondensator, einsetzen und mit einem Verbraucher, also zum Beispiel mit einer Glühbirne oder so dann verbinden und dann gibt der quasi seine Ladung

wieder ab, damit sich die Ladungen wieder ausgleichen. Der funktioniert dann wie eine Spannungsquelle quasi. #00:41:12-0#

S3: Ok. #00:41:16-7#

L: Weil der hat eben die Spannung, den Ladungsunterschied gespeichert und wenn der die Möglichkeit hat, dass der Stromkreis geschlossen ist, dann wandern die Elektronen, die da zu viel sind, wieder im Kreis, damit es sich wieder ausgleicht, damit da wieder gleich viele sind und dann ist er wieder ungeladen. [...] Wie man es darstellt als Schaltsymbol ist mit 2 parallelen Strichen. War das verständlich oder magst du es nochmal in eigenen Worten...? #00:41:48-7#

S3: Nein, es war verständlich. #00:41:51-5#

L: Gut, dann [...] Warum jetzt der Kondensator plötzlich kommt... Man kann die Nervenzelle, die verschiedenen Bestandteile der Nervenzelle kann man mit elektronischen Bauteilen beschreiben. Also man kann quasi sagen, die Zellmembran funktioniert ein Widerstand, weil sie eben zum Beispiel die Ladungsträger da nicht durchlässt, das ist wie ein Widerstand. Man kann jetzt die Kanäle, die Pumpe, die Membran unterschiedlichen Bauteilen zuordnen und der Kondensator ist eben auch eines davon, deswegen hab' ich den jetzt erklärt und überleg dir mal, wie du das zuordnen würdest. #00:42:48-2#

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Aufgabe 1)

S3: Also, Zellmembran-Widerstand. #00:42:54-9#

L: Genau und da wo der 2er steht, das kann man zweifach zuordnen, #00:43:00-9#

S3: Ok. [...] Also der Kondensator speichert die Energie sozusagen. #00:43:32-4#

L: Genau. Der sorgt dafür, dass sich das nicht gleich wieder ausgleicht. Da ist so eine isolierende Schicht dazwischen, das heißt, der sorgt dafür, dass sich's dann nicht wieder sofort... #00:43:50-7#

S3: Dann würde ich's auch zur Zellmembran zuordnen. #00:43:55-2#

L: Genau, die hat eine Doppelfunktion, die ist wie ein Widerstand, aber gleichzeitig auch der Speicher von der Ladung. #00:44:07-2#

S3: Ok, eigentlich wär' das jetzt einfach nur so, aber ich möchte das auch verstehen. [...] Die Spannungsquelle verteilt die Ladungen und die Natrium-Kalium-Pumpe tut es so wechseln, damit sich die Ladungen verändern. #00:44:31-3#

L: Genau, also die Spannungsquelle, die trennt die Ladungen. Die sorgt durch die Pumpe und den Kanal dafür, dass sich die Ladungen mehr trennen und dass eben eine Spannung entsteht, deswegen heißt sie Spannungsquelle. #00:44:48-9#

S3: Und die Kanäle damit es sich so ausgleicht. #00:45:00-6#

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Aufgabe 2)

L: Genau, die stellen quasi die ursprüngliche Spannung her. [...] Jetzt kommt das mit der Schaltskizze. Kennst du die Schaltsymbole? #00:45:13-7#

S3: Ja. #00:45:17-8#

L: Vom Kondensator hab ich's dir schon gezeigt. #00:45:20-3#

S3: Das ist die Lampe. #00:45:25-8#

L: Ja, und die Spannungsquelle. #00:45:35-1#

S3: Äh...Das ist das, ist das nicht irgendwie so? #00:45:44-6#

L: Ja, ein langer und ein kurzer Strich, weil der kurze ist der Minuspol und der lange ist der Pluspol. Die Schaltskizze ist jetzt quasi die Hilfe dafür, dass wir das Experiment aufbauen, aber das machen wir jetzt eh ganz einfach, weil man muss jetzt quasi vorstellen in der Zelle gibt es mehrere Spannungsquelle und es gibt auch zusätzlich noch andere Widerstände als die Membran, Wir haben das alles ein bisschen vereinfacht, weil quasi die Ladungsträger leisten sich gegenseitig auch Widerstand, dadurch, dass sie sich abstoßen- #00:46:16-7#

S3: Ja. #00:46:14-7#

L: -und alle aufeinander einwirken und die verschiedenen Kanäle sind auch zusätzliche Widerstände und Spannungsquellen eben auch mehrere und wir machen das jetzt aber ganz einfach, wir nehmen eine Spannungsquelle, einen Widerstand und einen Kondensator. Und jetzt brauchen wir zwei Schaltskizzen, eine, die das Erreichen des Ruhezustands darstellt und eine, die den aktiven Zustand darstellt. [...] #00:47:16-6#

S3: Ähm. #00:47:17-7#

L: So, wie ein einfacher Stromkreis aussieht. #00:47:17-7#

S3: Also, man macht den Kondensator- und daran angeschlossen eine Spannungsquelle und Widerstand. #00:47:47-9#

L: Genau, einfach alles der Reihe nach. #00:47:55-8#

S3: Wie ist noch einmal der Widerstand? #00:48:01-2#

L: Das ist so ein längliches Rechteck. Du kannst auch die Glühbirne zur Not nehmen, das ist ein bestimmter Widerstand. #00:48:05-2#

S3: Ach so, ok. Das ist wenn, also im Ruhezustand. #00:48:18-1#

L: Und im aktiven? #00:48:23-0#

S3: Aktiver Zustand wär', wenn der Kondensator an die Glühbirne geschlossen wird, das wäre ein aktiver Zustand. #00:48:48-6#

L: Genau, super. Dann können wir's schon aufbauen. [...] Das Wichtige ist, das, wo da das Plus

ist, muss da auch zu plus sein. #00:50:36-7#

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Aufgabe 3)

S3: Ok, also jetzt muss ich das mit dem Ruhezustand. #00:51:06-1#

L: Genau. [...] #00:51:40-8#

S3: Es hat kurz geleuchtet. #00:51:39-8#

L: Hast du's gesehen? Super. Dann machen wir gleich den aktiven Zustand. Was kommt im aktiven Zustand weg? #00:51:57-7#

S3: Also, das war jetzt der Ruhezustand? #00:52:01-2#

L: Was im Ruhezustand passiert ist... #00:52:12-4#

S3: Es hat die Ladung ausgeglichen. #00:52:12-4#

L: Genau umgekehrt, es hat's geladen, also quasi unausgeglichen gemacht. Die Elektronen sind jetzt da durch die Glühlampe, deswegen hat die auch kurz geleuchtet, dann hat sich die Seite aufgeladen und jetzt leuchtet's nicht mehr, weil jetzt ist es ausgeglichen. Jetzt ist das Maximum da erreicht, der ist geladen, mehr geht nicht, das heißt, es fließt kein Strom mehr. #00:52:49-4#

S3: Jetzt, das ist jetzt geladen. Und der aktive Zustand wär' jetzt, wenn ich die Glühlampe zum Leuchten bringe. Ok, also muss ich das umstecken [...] #00:53:16-7#

L: Hast du's gesehen? #00:53:25-2#

S3: Ja. #00:53:28-8#

L: Es hat wieder kurz geleuchtet. Dann kannst du beschreiben, was beim Ruhezustand passiert. #00:54:20-2#

S3: Die Elektronen gehen kurz durch die Lampe und dann zum Kondensator und dabei leuchtet die Lampe. #00:54:42-1#

L: Mhm. Und der Kondensator wird geladen dabei. #00:54:54-2#

[Schülerin schreibt Antwort nieder] #00:55:42-7#

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Aufgabe 4)

L [liest vor] Die Elektronen fließen durch die Lampe, dabei leuchtet sie kurz, dann fließen sie zum Kondensator und die Ladung wird gespeichert. Passt. Und dann noch der aktive Zustand. #00:55:48-6#

S3: Den Kondensator gibt die Ladung ab und dabei leuchtet die Lampe. #00:56:15-3#

L: Genau, also solange er sich entlädt, leuchtet sie kurz und dann wenn er eben entladen ist, leuchtet wieder nicht mehr. #00:56:30-9#

[Schülerin schreibt Antwort nieder] #00:56:59-4#

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Aufgabe 5)

L: Genau, was wäre wenn wir einen Kondensator hätten, der eine größere Kapazität hätte, also der mehr Ladung pro Spannung speichern könnte? #00:57:21-6#

S3: Das Entladen würde länger dauern und deshalb würde die Lampe länger leuchten. #00:57:37-7#

L: Genau. Und wenn wir einen größeren Widerstand, also quasi ein Lämpchen, das einen größeren Widerstand hätten. #00:58:37-9#

S3: Dann [...] halt, also wenn das ein größerer Widerstand wäre, würde das Entladen kürzer dauern, es würde weniger leuchten. #00:58:49-0#

L: Es würde weniger, wenn der Widerstand groß ist, heißt das, es kann weniger Strom fließen, weil eben mehr entgegenwirkt, das heißt, entweder würde das Lämpchen schwächer leuchten oder eventuell gar nicht leuchten, wenn der Widerstand sehr groß wär‘ weil eben so wenig durchkommt. Das kannst du formulieren. #00:59:52-6#

[Schülerin schreibt Antwort nieder] #01:00:10-4#

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Infotext 4 + Aufgabe 6)

L: Jetzt kommen wir zum letzten Teil. Das ist die Kapazität, das haben wir jetzt eh schon kurz gesagt, das ist das Maß, wie viel Ladung der Kondensator speichern hat. Die wird in Farad gemessen, das ist die Einheit. Für einen Plattenkondensator, das ist das, was wir jetzt vorher gesehen haben, der hat zwei Platten und dazwischen eben diese isolierende Schicht, gibt's eine Formel, wo man die Kapazität berechnen kann. Wenn man jetzt die Maße von diesem Kondensator kennt und für die Zellmembran braucht man jetzt diese Dielektrizitätszahl von Biomembranen. Das ist einfach irgendein konstanter Wert und die elektrische Feldkonstante ist auch nur eine Konstante, die Fläche von der Membran und den Abstand zwischen den beiden Platten, die Dicke von der Membran. Und eine Nervenzelle im Rückenmark, die sind sehr lang, und die hat eine Länge von 1 m und man weiß, dass die geformt ist wie ein Hohlzylinder, also quasi so rund und wie ein Zylinder nach oben gehend. Dieser Zylinder hat einen Radius von 10 hoch -5 Meter. Die Dicke sind 5 mal 10 hoch -9 Meter und die Dielektrizitätskonstante ist drei. Wenn man jetzt in diese Formel einsetzt, kann man sich ausrechnen, wie groß jetzt die Kapazität ist von so einer Nervenzelle im Rückenmark, also, wie viel Ladung die quasi speichern kann. #01:02:22-6#

S3: Also drei mal [...] Wofür steht das? #01:02:31-6#

L: Epsilon. Epsilon 0. Weißt du, wie man die Fläche berechnet vom Zylinder? #01:02:40-0#

S3: Das haben wir letztens gelernt. [...] #01:03:17-3#

L: Das ist Grundfläche mal Höhe und in dem Fall 2 mal r mal Pi und dann mal l, also die Länge von dem Ganzen. #01:03:37-7#

S3: Wie beim Kreis und das wäre die Höhe. #01:03:49-4#

L: Genau. Dann kannst du schon einsetzen. #01:03:59-4#

[Schülerin rechnet] #01:06:27-7#

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Aufgabe 7)

L: Ja, das passt super. Das ist sehr, sehr klein. Jetzt rechnen wir uns noch aus, wie groß das elektrische Feld ist, das das dann erzeugt. Das elektrische Feld, also die elektrische Feldstärke beschreibt dann, wie stark das elektrische Feld ist, wie groß die Kraft ist, die auf ein Teilchen wirken würde, wenn es in dem Feld wär, wie stark das angezogen oder abgestoßen wäre. Die Spannung hast du vorgegeben von der Membran und die Dicke kennen wir schon. #01:07:45-9#

S3: Das ist das da. #01:07:50-2#

L: Genau. #01:07:52-9#

[Schülerin rechnet]. #01:08:14-7#

L: Mhm, genau. Das sind jetzt Volt pro Meter und oben müssen wir auch noch Farad dazuschreiben für die Einheit. Also das sind quasi 20 Millionen Volt pro Meter. Das ist viel ein Blitz hat mindestens eine Feldstärke von 3 Millionen Volt pro Meter. Jetzt kannst du dann abschätzen, ob die Feldstärke groß ist, die in den Membranen vorherrscht. #01:09:01-0#

S3: Sehr groß. #01:09:00-8#

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Aufgabe 8)

L: Ja, das ist, weil die Maße so klein sind, dass sich das gleich extrem auswirkt. Das ist jetzt eh schon die Schlusssaufgabe. Es gibt Pfeilgiftfrösche, das Gift von denen wird auch für Pfeile verwendet, deswegen heißen sie so, die sind extrem giftig. Ich hab' nachgelesen, die sind deswegen so giftig, weil die fressen irgendwelche giftigen Käfer und sie selbst können es aber verdauen und ihnen macht das Gift nichts, aber sie werden dadurch selbst giftig. Das sind diese Batrachotoxine und für den Menschen sind schon ganz wenige Milligramm, also eine winzige Menge tödlich, weil die eben diese Membranspannung in den Zellen, weil die die einfach sofort abbauen und dann wäre die Potentialdifferenz 0 und dann wär' keine Spannung mehr, und wenn diese Spannung 0 ist, dann stirbt man sehr schnell. Und jetzt müsstest du noch für mich begründen, warum das so gefährlich ist, wenn die Membranspannung 0 wird? #01:10:21-5#

S3: Ok, jetzt muss ich nachdenken [...] Die Potentialdifferenz ist ja 0, ganz schnell und das ist ja der Ruhezustand und da ist man nicht aktiv und Herz und Atemmuskulatur brauchen dann länger, um wieder zu arbeiten, weil sie im Ruhezustand sind [...] Ich weiß nicht. #01:11:06-4#

L: Es war teilweise. Wenn jetzt die Potentialdifferenz 0 ist, dann kann die Zelle kein Signal mehr empfangen. #01:11:18-5#

S3: Ach so. #01:11:18-5#

L: Weil, die braucht nämlich diesen bestimmten Schwellenwert, aber wenn die Spannung schon 0 ist, dann registriert sie den Reiz nicht mehr, weil, wenn jetzt eben, im aktiven Zustand würde ein Kanal geöffnet werden und dann würde sich hier etwas verändern, also die Potentialdifferenz verringern und dann wird dieses Signal weitergeleitet und weitergeleitet und kommt dann irgendwann zum Gehirn. Wenn das aber schon von Haus aus 0 ist, dann kann sich da nichts mehr verändern und dann wird das nicht weitergeleitet. Wenn das Herz kein Signal mehr zum Gehirn senden kann oder die Atemmuskulatur nicht mehr arbeiten kann, weil sie das Signal nicht mehr weiterleiten kann, dann stirbt man einfach extrem schnell. #01:12:04-9#

S3: Man kann den Reiz einfach nicht wahrnehmen, weil die Potentialdifferenz 0 ist, wenn das Gift in den Körper kommt und deswegen kann man nicht so reagieren. #01:12:25-9#

L: Genau, weil ein Nervensignal wird als elektrischer Impuls weitergeleitet zum Gehirn und wenn das von Haus aus 0 ist, kann kein elektrisches Signal weitergeleitet werden und dann ohne Verbindung zum Gehirn ist man schnell tot. #01:12:38-2#

S3: Ja, ok. #01:12:42-6#

L: Das kannst du jetzt noch irgendwie formulieren in eigenen Worten. #01:12:52-0#

[Schülerin schreibt] #01:13:44-5#

L: Passt, genau. Was du eben gesagt hast, dass das dann länger dauert, bis sich das aufbaut... Das würd' sich dann gar nicht mehr aufbauen, weil wenn das nämlich schon 0 ist, dann würd' sich nichts mehr bewegen. #01:14:00-4#

L: Wie hat dir die Aufgabenstellung generell gefallen vom Aufbau her und vom Thema her? #01:14:13-1#

S3: Ich fand's eigentlich ganz spannend, weil es ist ja etwas, was in mir drinnen passiert. Ich fand's ziemlich interessant. Und was war die andere Frage? #01:14:26-3#

L: Wie würdest du's einstufen von sehr leicht bis sehr schwierig? #01:14:36-6#

S3: Ich persönlich bin jetzt eigentlich nicht so gut in Physik, aber dafür, dass ich nicht so gut darin bin, hab ich's ziemlich gut verstanden. Also normalerweise, wenn ich für Physik lerne, brauch ich, um so was zu verstehen, eigentlich schon so 3-4 Stunden. Ich glaube, dass Sie's ziemlich gut erklärt haben. #01:14:57-1#

L: Also, mit Anleitung quasi verständlich, sozusagen. #01:14:59-6#

S3: Ja. #01:14:59-6#

L: Ok. War's von den Begriffen her schwierig? Also, Potentialdifferenz oder die Namen von den Ionen oder Kapazität? Waren viele Fachwörter, die schwierig waren? #01:15:13-6#

S3: Nein, es war relativ ausgeglichen. Ich kenne Lehrer, die nutzen viel mehr Fachwörter. Dafür ist es schon ziemlich normal, also ich finde, das ist jetzt normal. #01:15:26-6#

L: Ok. Und würdest du sagen, dass das Lernen vom Kondensator, also von diesem elektrischen Bauteil anhand von der Nervenzelle- Interessiert dich das mehr als wenn du's jetzt nur

physikalisch lernst als Bauteil oder wäre dir das quasi egal, also würdest du sagen, es würde dich auch interessieren, nur den Schaltkreis aufzubauen jetzt ohne einem Anwendungsbezug? #01:15:55-8#

S3: Ich finde das mit dem Anwendungsbezug besser, weil ich glaub, man konnte es sich auch besser vorstellen. Also mit dem Bezug auf die Nervenzelle fand ich's schon besser. Also, das allein wär jetzt glaub ich nicht so spannend gewesen. #01:16:14-8#

L: Ok. Würdest du so etwas Ähnliches wieder machen? #01:16:18-3#

S3: Ja. Also ich fand's spannend. #01:16:21-2#

L: Ok super, freut mich. Gibt's noch irgendetwas, das du ändern würdest? Was du verbessern würdest? Oder irgendeine Fragestellung, die du anders formulieren würdest oder einfacher? #01:16:36-5#

S3: [schaut sich noch einmal die Fragen an] Ok, die Frage war ein bisschen unklar, das hat man nicht sofort verstanden. Das auch [numerisch]. Vielleicht könnte man einfach, das war ja in Bezug auf diese -70 Volt, vielleicht kann man das einfach in Klammer, damit man weiß, worauf sich das bezieht. Sonst war eigentlich eh alles klar. Die Fragen waren eigentlich eher verständlich.

Transkript der dritten Akzeptanzbefragung zu „Maus und Elefant“ (12.8.2020)

Maus/Elefant – Teil I: Stoffwechselintensitäten einiger Tiere (Infotext 1)

L: Da geht's darum, dass verschiedene Säugetiere eine verschieden große Stoffwechselintensität haben, das heißt, wie viel Energie durch die Nahrung sie aufnehmen müssen pro Zeit, das gibt die Stoffwechselintensität an und das muss eben jedes Säugetier- egal, wie groß, wie klein es ist, muss das schaffen, seine Körpertemperatur konstant zu halten. Das ist von Tier zu Tier unterschiedlich, aber so rund um 37 Grad Celsius sind das ungefähr bei jedem Tier. Und, damit das eben konstant bleibt, muss das Tier gleich viel Energie aufnehmen wie abgeben, weil dann bleibt's immer bei den 37 Grad. Man hat verschiedene Tiere eben verglichen und da ist rausgekommen, dass diese Stoffwechselintensität, also, wie viel Nahrung ein Tier pro Zeit aufnehmen muss proportional ist zur Masse von dem Tier hoch $3/4$. Also, es ist so ein Verhältnis, also, quasi, die Masse hoch $3/4$ des Tiers ist proportional zur Stoffwechselintensität, also, wenn man die Masse hoch $3/4$ verdoppeln würde, dann würde sich die Stoffwechselintensität verdoppeln. #00:02:30-9#

S4: Jaja. #00:02:35-2#

L: Kannst mir du das in eigenen Worten nochmal wiedergeben? #00:02:36-2#

S4: Tiere müssen so viel Energie in Form von Nahrung oder trinken eben aufnehmen, wie sie auch wieder verbrauchen, damit sie insgesamt dann eigentlich die- ihre Körpertemperatur halten können und sich- und die sie nicht mehr Energie in sich gespeichert haben oder zu viel abgeben. #00:02:59-7#

L: Mhm. #00:03:02-2#

S4: Und die Stoffwechselintensität gibt an, halt, wie viel Energie in einer Zeit sie dafür brauchen und die ist proportional zur Masse hoch drei viertel, was bedeutet, dass man, wenn man die Masse hoch $3/4$ verdoppelt, auch die Stoffwechselintensität verdoppelt. #00:03:18-2#

L: Passt, sehr gut. Dann kannst du schon Aufgabe einmal durchlesen und gibst ma halt Bescheid, wennst eine Frage hast. #00:03:28-9#

Maus/Elefant – Teil I: Stoffwechselintensitäten einiger Tiere (Aufgabe 1)

S4; Mhm. [Schüler liest Aufgabe durch] Ja. Das heißt, ich kann jetzt ausrechnen, um welchen Faktor der Elefant mehr wiegt und das rechne ich dann auf die Stoffwechselintensität hoch. #00:03:58-7#

L: Mhm. Mach das mal. #00:04:02-3#

S4: Das heißt, ich rechne 4000 Kilo und 21 Gramm sind 0,021 Kilo [Schüler schreibt und rechnet]. #00:05:12-7#

L: Aufpassen: Das ist- proportional zur Stoffwechselintensität ist nicht die Masse, sondern die Masse hoch $3/4$. #00:05:17-3#

S4: Stimmt. [Schüler überlegt] Dann muss ich bei der Maus auch die Masse hoch $\frac{3}{4}$ nehmen und beim Elefanten auch. #00:05:44-1#

L: Mhm. #00:06:24-0#

[Schüler berechnet Massenverhältnis] #00:07:02-9#

[Schüler berechnet Stoffwechselintensität des Elefanten]. #00:08:51-3#

S4: So, das müsste jetzt richtig sein [...] #00:09:07-7#

[Lehrperson liest Lösungsweg durch und deutet auf Umwandlungsfehler] #00:10:06-0#

S4: Das sind Kilogramm [...] #00:10:17-9#

L: Mhm. #00:10:57-9#

[Schüler rechnet noch einmal nach] #00:11:01-3#

L: Mhm, da hast du irgendwo eine Kommastelle- ich hab' so etwas Ähnliches, aber ich hab's um eine Kommastelle verschoben. [...] Schau ma mal, also die 4000 Kilo, das passt auf jeden Fall, die Masse von der Maus sind 0,021 kg, das passt auch, das hoch $\frac{3}{4}$, das tipp ich nochmal ein, ob wir uns da geirrt haben [...] und das mal 0,17, [...] das passt aber eigentlich. #00:12:21-7#

S4: Das habe ich hier vorne schon ausgerechnet gehabt, das Verhältnis von Masse hoch $\frac{3}{4}$ und nur eingesetzt. #00:12:44-0#

L: Mhm, das da war das. Das hat eh gestimmt, aber das Verhältnis war falsch, das war um eine Kommastelle verschoben. #00:13:14-2#

S4: Das ist ja eine ganz andere Zahl. #00:13:17-1#

L: Ja, ich hab' gerundet, ich hab nur 502 eingegeben. #00:13:17-1#

S4: Das heißt, ich kann da einfach das Komma verschieben. #00:13:15-1#

L: Genau, dann verschiebt sich das um 1 und dann passt's. Welche Einheit ist denn das? #00:13:23-0#

S4: Das sind dann Watt. #00:13:23-0#

L: Genau, sagst du's mir nochmal [...] wie'st du's gerechnet hast? #00:13:29-1#

S4: Also, die Masse des Elefanten hoch $\frac{3}{4}$ dividiert die Masse der Maus hoch $\frac{3}{4}$ ist das Verhältnis von der Masse. #00:13:39-8#

L: Mhm. #00:13:41-8#

S4: Da Masse und die Stoffwechselintensität proportional zueinander sind, kann ich dann mit

dem Verhältnis der Masse auch die Stoffwechselintensität hoch rechnen und so kommt man dann auf das Ergebnis. #00:13:59-4#

Maus/Elefant – Teil I: Stoffwechselintensitäten einiger Tiere (Aufgabe 2)

L: Mhm, passt, dann lies dir mal das Zweite durch. [...] Erklärst mir mal, was man da machen muss? #00:14:23-1#

S4: Man soll in der unteren Tabelle prüfen, wie genau man die Stoffwechselintensität des Menschen mit dem Verhältnis von oben ausrechnen kann und soll die Ungenauigkeit dann angeben. #00:14:36-8#

L: Genau, also man hat quasi einen Wert in der Tabelle und wir sollen mit dem Verhältnis, wie wir es vorher schon gemacht haben, überprüfen, wie genau, diese Abschätzung quasi stimmt, im Vergleich zu den Werten, die man halt gemessen hat, das sind quasi Messwerte. #00:14:52-6#

S4: Das heißt, wir nehmen dann einen [...] Wir nehmen dann die Maus und machen das gleiche wie mit dem Elefanten mit dem Menschen und schauen, wie das dann mit der Tabelle zusammenpasst. #00:15:01-6#

L: Genau. Zum Beispiel die Maus. #00:15:15-5#

S4: Ich unterstreich's wir mal. Und als Vergleich dazu nehmen wir die Maus. Da haben wir schon die Masse hoch $\frac{3}{4}$ ausgerechnet gehabt, dann rechnen wir die Masse hoch $\frac{3}{4}$ vom Menschen aus [...] #00:16:11-3#

[Schüler rechnet] #00:17:42-7#

S4: 74, 8 Watt. #00:17:42-6#

L: Mhm. #00:17:44-6#

S4: Und da steht 80. #00:17:45-3#

L: Genau, wie viel ist es ungefähr... #00:17:48-0#

S4: 5,2. #00:17:49-3#

L: Ja, genau, in welcher Größenordnung liegt da jetzt die Abweichung? Quasi, könnte man sagen Einerbereich, Zehnerbereich, Hunderterbereich? #00:18:02-1#

S4: Im Einerbereich. #00:18:02-8#

Maus/Elefant – Teil II: Grundumsätze einiger Tiere (Infotext 2)

L: Ja, genau, im Einerbereich, also zwischen 1 und 10. [...] Teil 2 ist jetzt zum Grundumsatz. Wir bleiben eh wieder bei der Maus und Elefanten im Wesentlichen- und beim Menschen. Das weißt du vielleicht eh schon, ich weiß nicht, aber das ist die Energie, die man aufnehmen muss, wenn man sich nicht bewegt, also die Energie, die man braucht, damit die Organe arbeiten,

damit das Herz pumpt, die Wärmeabgabe, also, das, was der Körper an Energie noch in völliger Ruhe aufnehmen muss. Und für einen Menschen von 70 kg sind das ungefähr 7000 kJ. 7000 kJ sind so viel wie- #00:18:54-3#

S4:-7 Millionen Joule. #00:18:54-3#

L: Genau. Sag's mir nochmal kurz in einem Satz oder zwei in eigenen Worten, was der Grundumsatz ist. #00:18:58-0#

S4: Der Grundumsatz ist die Energie, die ein Körper im Ruhezustand ohne irgendwelchen Aktivitäten außer den unbewussten braucht und der liegt beim Menschen bei ca. 7 Millionen Joule. #00:19:14-3#

L: Wenn er 70 Kilogramm hat, genau. #00:19:17-7#

S4: Ja. #00:19:17-7#

Maus/Elefant – Teil I: Grundumsätze einiger Tiere (Aufgabe 3)

L: Gut, dann kannst du schon Aufgabe 3 durchlesen. #00:20:10-6#

S4: [...] 65-mal mehr als der Mensch [...] Die Maus hatte 21 g. Das heißt, sie hat 21 mal 65 mal höher [...] mal 7000 ist gleich [...] Bei mir kommt 9.575.000 kJ. #00:21:17-8#

L: Also, du hast 21, ok Vorsicht... #00:21:19-7#

S4: Aja, das ist Kilo. #00:21:23-0#

L: Genau, das sind Kilo und das sind Gramm, das heißt, entweder alles auf Kilogramm, am besten alles auf Kilogramm, weil Joule ist auch auf Kilogramm, weil das ist die SI-Einheit. #00:21:31-7#

S4: Pro Gramm Körpergewicht. #00:21:45-5#

L: Ich hab' zuerst ausgerechnet, wie viel Energie pro Gramm der Mensch braucht. #00:21:49-0#

S4: Und dann erst hoch- Dann kann ich's eigentlich beim Elefanten auch gleich so machen. [...] 7000 durch 70... #00:22:17-0#

L: Du musst aber pro Gramm. Wenn du durch 70 rechnest hast du pro Kilogramm. #00:22:19-2#

S4: Ja, und dann rechne ich's nochmal durch 1000. #00:22:22-6#

L: Mhm. #00:22:27-4#

S4: Dann habe ich 0,1. #00:22:33-4#

L; Mhm. #00:22:33-4#

S4: Joule.... Kilojoule. #00:22:33-4#

L: Kilojoule sind das. #00:22:34-8#

S4: Sind 1000 Joule mal 0,1 sind 100. [...] Die Maus hat jetzt einen 65 mal höher. Das heißt, die Maus hat 6500 pro Gramm und 21 mal 6500 [...] sind 136.500. #00:23:30-8#

L: Mhm, passt. Einheit? #00:23:36-3#

S4: Joule. Und beim Elefanten [...] die Maus ist um 200-mal höher als der Elefant, das heißt der Mensch, den brauch ich jetzt gar nicht mehr [...] durch 200 sind 32,5. Ist dann der des Elefanten. Der Elefant haben wir gesagt wiegt 4 t, sind 4000 Kilo mal 1000 sind 4.000.000 g. #00:25:00-8#

L: Mhm. #00:25:06-9#

S4: 32,5 mal 4.000.000 und das sind jetzt 14 Millionen sind 14.000 kJ. #00:25:54-3#

L: Ich hab' 130.000 kJ. [...] Schauen wir mal, die 32, stimmen die auch noch... #00:26:26-0#

S4: Also, wenn ich 6500 durch 200 dividiere, dann dividiere ich's durch 100, sind 65 durch 2, sind 32,5. #00:26:36-3#

L: Sollt eh stimmen. Bei mir ist es aber verschoben...Ah, du hast 3,5 mal 4.000.000 gerechnet, dann ist das wieder dieses Komma [...] #00:27:40-3#

S4: Jetzt sind's auch 130.000. #00:27:45-0#

L: Ja, passt. #00:28:04-8#

Maus/Elefant – Teil II: Grundumsätze einiger Tiere (Aufgabe 4)

S4: [liest Angabe zu Aufgabe 4 vor] #00:28:05-3#

L: Mega... weißt du, wie viele Nullen das hat? #00:28:06-9#

S4: 6. #00:28:05-1#

L: Ja. #00:28:12-6#

S4: [liest weiter vor] Das heißt, wir haben 6 Millionen Joule in einem Kilo Gras, wir brauchen 130 Millionen Joule, sind 130 durch 6 sind dann 20 dann sind wir auf 120, sind wahrscheinlich dann 22. #00:28:52-3#

L: Das ist schon eine ziemlich gute Schätzung. #00:29:03-1#

S4: Sind 21,6 kg. Er muss 21,6 kg Gras fressen. #00:29:24-1#

L: Passt. #00:29:27-4#

Maus/Elefant – Teil I: Stoffwechselintensitäten einiger Tiere (Aufgabe 5)

S4: [liest Aufgabe 5] Uh. Grundumsatz Maus sind 650, 6500, wenn ich das jetzt mal 4 Millionen nehme... ja, das mach ich. 2,6 mal 10 hoch 10. Das heißt, wir haben 26 und 9 Nullen dran. Das sind dann aber Joule, das heißt wir haben 26.000 MJ. Und wenn ein Kilo Gras 6 Megajoule hergibt, muss ich 26.000 durch 6 rechnen [...] 4333,3 periodisch. #00:30:57-4#

L: Mhm. #00:31:03-3#

S4: Ja, da frisst er mehr als sein eigenes Körpergewicht. #00:31:13-1#

L: Die letzte Frage bezieht sich jetzt eh auf das, was wir jetzt ausgerechnet haben. #00:31:20-3#

Maus/Elefant – Teil II: Grundumsätze einiger Tiere (Aufgabe 6)

S4: [liest Angabe laut vor] Ja, der Elefant braucht dann eigentlich- also der Elefant müsste mit dem Grundumsatz von der Maus viel zu viel fressen. #00:31:46-0#

L: Das heißt- #00:31:49-5#

S4: Das heißt, er braucht eigentlich nicht so viel Energie, wenn man die von der Maus hochrechnen würde. #00:31:52-3#

L: Genau, also im Prinzip braucht er im Verhältnis zu seiner Masse- #00:31:57-1#

S4: Weniger Energie als kleinere Tiere. #00:32:00-9#

L: Stimmt. #00:32:03-5#

S4: Das heißt die Energie pro Masse beim Elefanten ist größer als die bei der Maus-äh kleiner. [schreibt Ergebnis auf]. #00:32:38-5#

L: Passt, kannst umblättern. #00:32:48-4#

Maus/Elefant – Teil III: Verhältnis zwischen Körperoberfläche und Volumen einiger Tiere (Aufgabe 7)

S4: [liest die Angabe vor] Wenn der Körper als rund angenommen wird [...] also als Kugel. #00:33:17-7#

L: Genau. Sind dir die Formeln bekannt oder soll ich dir ein bisschen auf die Sprünge helfen? #00:33:27-8#

S4: Wir haben in Mathe nur Umfang und Fläche gemacht, aber nicht Volumen. #00:33:31-6#

L: Macht nix. #00:33:33-9#

S4: Das ist dann irgendwas mit hoch drei und r und pi. #00:33:35-0#

L: Genau, meistens ist r und π dabei. [...] Körperoberfläche ist mal 4 mal π mal r Quadrat und Volumen ist $\frac{4}{3} \pi r^3$. #00:34:05-8#

S4: Das heißt die Oberfläche ist- r Quadrat π ist die Fläche mal 4 ist die Oberfläche. Der Durchmesser- wir sollen näherungsweise die Körperoberfläche untersuchen, das heißt, wir haben- ich fang mit der Oberfläche an [...] #00:34:51-9#

L: Achtung, schau nochmal die 3,4 an. #00:34:53-8#

S4: Zentimeter. #00:34:56-5#

L: Ja, das macht in dem Fall jetzt nix [...] Was sind denn die 3,4? #00:35:04-0#

S4: Der Durchmesser. Also sind's 1,7 [...] Schüler rechnet] sind gleich 36,2 Quadratzentimeter. #00:35:49-3#

L: Genau. #00:35:52-8#

S4: Jetzt haben wir noch das Volumen, ist gleich $\frac{4}{3}$ mal π r hoch drei. [...zeigt das Ergebnis] #00:36:40-5#

L: Passt, schaut gut aus. #00:36:47-3#

S4: Ich bin gespannt, worauf die Aufgabe hinauswill. Wir haben das nämlich im Physikbuch gehabt mit unterschiedlichen Pinguinarten. Weil, die Pinguine, die dort leben, wo's warm ist, die haben dann, die sind dann [...] kleiner, weil die haben dann für ihr Volumen eine größere Oberfläche im Verhältnis wie die, die dort leben, wo's kalt ist und deshalb, weil's aber heiß ist, und deshalb ist es egal, wenn sie über die Oberfläche mehr Energie abgeben. Die kalten haben dann weniger Oberfläche, damit sie weniger Energie über die Oberfläche abgeben, damit's wärmer bleibt. #00:37:30-4#

L: Genau, stimmt. #00:37:35-9#

Maus/Elefant – Teil III: Verhältnis zwischen Körperoberfläche und Volumen einiger Tiere (Aufgabe 8)

S4: [liest Angabe laut vor] #00:37:46-6#

L: Du musst nicht rechnen, es reicht, wenn du begründest. #00:37:55-1#

S4: [überlegt] Aber der Durchmesser des Elefanten ist 3,4 m. nicht cm, Meter. #00:38:03-7#

L: Mhm. #00:38:05-5#

S4: Das wär' ein bisschen größer als normal. #00:38:13-7#

L: Ja, das ist, damit man es sich gut vorstellen kann. #00:38:25-2#

S4: Das heißt, das Volumen wird größer und die Oberfläche wird im Verhältnis kleiner. #00:38:28-9#

L: Mhm. Um das Wievielfache? #00:38:36-1#

S4: Jetzt muss ich überlegen. #00:38:42-3#

L: Denk nur nach. #00:38:46-7#

S4: Darf ich's ausrechnen? #00:39:11-9#

L: Ich geb' dir noch einen Hinweis, bevor du rechnest. Überleg dir, wie 3,4 cm zu 3,4 m steht. #00:39:18-6#

S4: Ja, das ist 100- mal 100. #00:39:25-2#

L: Und wie sich, mit welcher Potenz sich das Volumen vergrößert und mit welcher Potenz sich die Oberfläche vergrößert. #00:39:36-9#

S4: Das ist ein Potenzunterschied von hoch 1 dann, also 1 und 100 [...] #00:39:50-6#

L: Sonst kannst du's ausrechnen willst und dann können wir dann schauen. #00:39:51-4#

S4: Ich kann mich erinnern, wir hatten im Physikbuch einen Würfel mit 1 Quadratcentimeter Oberfläche und wenn die Seitenlänge 4 ist, dann sind es 24 Quadratcentimeter, 6 mal 4 ist 24 [...] #00:40:35-4#

L: Also, wenn du quasi die Länge um das Hundertfache erhöhst, um das Wievielfache erhöht sich dann die Oberfläche und um das Wievielfache erhöht sich das Volumen? #00:40:49-7#

S4: Die Oberfläche dann das [...] wenn ich jetzt den Radius 100 mal so groß hab, dann ist die Oberfläche auch 100 mal so groß. #00:41:00-7#

L: Das wär' theoretisch so, wenn da nicht das Quadrat stehen würd. #00:41:01-9#

S4: Ja. Dann ist sie 100 zum Quadrat groß. #00:41:17-3#

L: Ja, um das 10.000-fache. #00:41:19-5#

S4: Und dann 100 hoch 3 ist dann 1 Million. Das heißt die Oberfläche wär um das 10.000-fache größer und das Volumen das Millionenfache größer. #00:41:52-5#

L: Ja. #00:42:03-1#

Maus/Elefant – Teil III: Verhältnis zwischen Körperoberfläche und Volumen einiger Tiere (Aufgabe 9)

S4: [liest Angabe laut vor] Ja der Elefant hat ja eine geringere - oder? Ja. Ja, die Maus hat viel mehr Körper abgesehen von den Knochen, die beheizt werden müssen und der Elefant hat viel weniger Masse abgesehen vom Körper. #00:43:11-8#

L: Kannst du das irgendwie in eigenen Worten aufschreiben? #00:43:23-0#

S4: Uhhhhh, in eigenen Worten aufschreiben...Abgesehen von den Knochen hat die Maus viel

mehr, was sie beheizen muss-prozentuell. Weil sonst, von den Kilogramm nicht, nur prozentuell, muss die Maus 95 % ihrer Masse beheizen und der Elefant nur 70. #00:43:54-0#

L: Mhm. #00:43:57-6#

S4: [schreibt die Antwort nieder] Aber eigentlich ist es ja nicht so, dass die Knochen kälter sind als wir, aber eigentlich werden die auch beheizt. #00:45:01-1#

L: Sie verbrauchen aber nichts, sondern sie sind einfach da. #00:45:14-9#

S4: Sondern die Organe. #00:45:19-9#

L: Genau, die Knochen sind nicht stoffwechselaktiv, also sie tragen zum Stoffwechsel nichts bei, zur Stabilisierung, aber brauchen vergleichsweise wenig Energie. #00:45:35-5#

Feedback zur Aufgabenstellung

L: Wie würdest du die Aufgabenstellung von der Schwierigkeit her einschätzen? #00:45:38-9#

S4: Ja, sie sind [...] also für mich waren sie jetzt eher leichter. Bis da hinten, da hatte ich ein bisschen Schwierigkeiten, aber sonst, ist es eigentlich ganz lustig zu machen. Man muss bissl denken, wie, ob das jetzt dividieren, mal, wie jetzt herum, dass du nicht falsch herum dividierst oder so, also es ist so, denken und dann ist es eigentlich nicht mehr so schwierig. #00:46:23-2#

L: Mhm, ok, also man muss denken. #00:46:28-1#

S4: Das Rechnen ist das einfachere dran. #00:46:29-8#

L: Ja. #00:46:32-1#

S4: Und das Denken war für mich jetzt auch nicht sonderlich schwierig. Es war lustig. #00:46:39-2#

L: Mhm. Also hat's dir gefallen? #00:46:38-8#

S4: Ja, es hat Spaß gemacht. #00:46:41-2#

L: Findest du das Themengebiet interessant oder hättest du lieber ein anderes Themengebiet gehabt? Also, findest du's interessant mit Tieren oder bist du mehr so der, der sich so für Physikaufgaben interessiert quasi so technisch? #00:46:59-7#

S4: Ja, eigentlich schon auch, aber ich find so was auch zur Abwechslung ganz lustig zu rechnen. #00:47:07-4#

L: Mhm, also quasi beides. Du bist eher so die Physikaufgaben gewohnt? #00:47:13-8#

S4: Nein, gewohnt nicht, das ist, ich hab's gern, wenn ich mir was ausrechne, dann was Neues dabei lerne oder was Neues dabei entdecke, deshalb mag ich auch experimentieren, weil wenn

du experimentierst und es dann durchrechnest, und dann siehst du neue Sachen, die du nicht wusstest. #00:47:34-4#

L: Mhm. #00:47:37-7#

S4: Aber so, find ich schon, ist es schon interessant auch zur Abwechslung. #00:47:45-2#

L: Und würdest du irgendwas ändern an der Aufgabenstellung? Gibt es etwas, was schwer verständlich war, zum Beispiel von der Fragestellung her oder irgendein Begriff, der nicht gut erklärt war oder generell? #00:48:00-6#

S4: Von dem her war's ganz gut. #00:48:07-6#

L: Also du würdest nichts ändern. Würdest du so etwas Ähnliches noch mal machen? #00:48:10-8#

S4: Ja. #00:48:14-8#

L: Also, im Gesamten hat's dir gefallen? #00:48:15-5#

S4: Ja. #00:48:17-1#

L: Super, freut mich.

Transkript der vierten Akzeptanzbefragung (1. Oktober 2020)

Nervenzelle – Teil I: Ruhezustand der Nervenzelle (Infotext 1+ Abbildung 1)

L: Das läuft immer folgendermaßen ab: Ich erklär' dir diesen Text da kurz ein bisschen, dann musst du ihn nicht so genau lesen und du sagst mir dann noch einmal in eigenen Worten, worum es da gegangen ist, was ich dir jetzt erzähle und dann darfst du die Aufgabenstellungen durchlesen und schauen, ob du sie bearbeiten kannst und sonst helfe ich dir halt ein bisschen, je nachdem. #00:00:24-1#

S5: Mhm. #00:00:24-6#

L: Und beim ersten geht's mal darum: Das ganze hier ist quasi eine Nervenzelle und hier (verweist auf die Abbildung 1) hat man das Zelläußere und hier unten das Zellinnere und die beiden sind getrennt durch diese Lipid-Doppelschicht. Das ist die Zellmembran, #00:00:42-9#

S5: Mhm. #00:00:42-9#

L: Das ist die Trennschicht zwischen innen und außen. Und sowohl im Inneren als auch im Äußeren gibt's geladene Teilchen. Das sind Ionen und diese Ionen können durch diese Membran nicht durch. Also die können nicht Seiten wechseln, die Teilchen. Das können sie nur durch diese Kanäle. Da heißt der eine K⁺-Kanal. Durch diesen K⁺-Kanal können aber nur die Kalium-Ionen durch und das ist der Na⁺-Kanal und da können nur die- #00:01:19-0#

S5: Natrium #00:01:19-0#

L: Genau, da können nur die Natrium-Ionen durch. Der ist aber im Ruhezustand verschlossen. Das soll dieser Querbalken darstellen. Der ist gerade nicht offen. [...] Dann gibt es noch... Das ist das dritte, wo sie durchkönnen, die Natrium-Kalium-Pumpe. Da ist es so, das kann man sich so vorstellen, es werden im drei Natrium-Ionen von innen nach außen transportiert und gleichzeitig zwei Kalium-Ionen von außen nach innen. Das sind die Möglichkeiten, wie die Ionen doch durchkönnen, zumindest die Kalium- und die Natrium-Ionen. #00:01:50-3#

S5: Mhm. #00:01:51-5#

L: Kannst du mir das nochmal wiedergeben? #00:01:51-5#

S1: Ähm, ja. Also, da (verweist auf Abbildung 1) ist das Zelläußere und da ist das Zellinnere. Die wurden durch eine Lipid-Doppelschicht getrennt. Das sind sozusagen Fette. Danach gibt es ein K⁺-Kanal, der offen ist, auch im **Ruhestand** und einen Natrium⁺-Kanal, der in einem **Ruhestand** geschlossen ist. Und danach gibt's noch den Natrium- und Kaliumpumpe, wobei, da werden sie nicht regelmäßig, sondern immer nur 3 zu 2 umgedreht sozusagen. Also, da können drei Kalium raus und zwei Natrium rein. #00:02:35-7#

L: Umgekehrt. Drei Natrium raus und zwei Kalium rein. #00:02:37-4#

S1: Ja. Und da drinnen sind noch Proteine. Und ja. #00:02:42-0#

L: Ok, passt. Dann kannst du dir die zwei Aufgaben einmal durchlesen und wennst Fragen hast, fragst mich. #00:02:53-3#

S5: Ok. #00:02:53-3#

Maus/Elefant – Teil I: Stoffwechselintensitäten einiger Tiere (Infotext 1)

L: Hast du es schon gelesen? #00:03:05-6#

S6: Ja. #00:03:05-6#

L: Kannst du mir erklären, was da drinnen steht? #00:03:09-3#

S6: Man muss wissen, warum eine Ratte mehr fressen muss im Gegensatz zum Elefanten. Und das hängt davon ab, dass sie mehr Stoffwechselintensität aufweist. #00:03:34-4#

L: Ja, also Säugetiere müssen ihre Körpertemperatur immer gleich halten, also bei uns ist es so 36,5 Grad Celsius ungefähr und das gilt für fast alle Säugetiere. Damit sie das halt können müssen sie fressen, weil man gibt ja ständig Wärme an die Umgebung ab. Das heißt, das was unser Körper wärmer ist als zum Beispiel das Zimmer jetzt hier geben wir dauernd als Wärme ab. Und das heißt, wir müssen Nahrung zu uns nehmen, damit wir immer bei diesen 37 Grad bleiben können und wieder Energie zuführen. Und die Stoffwechselintensität von einem Tier, die gibt eben an, wie viel Energie pro Zeit von einem Tier in Form von Nahrung aufgenommen werden kann. Das heißt, das hängt jetzt vom Tier ab, wie viel Energie pro Sekunde als Nahrung aufgenommen wird. Und man hat herausgefunden, nachdem man verschiedene Tiere verglichen hat, dass die Stoffwechselintensität, also wie viel Energie pro Zeiteinheit in Form von Nahrung aufgenommen wird proportional ist zu der Masse von dem Tier hoch $3/4$. Weißt du, was das heißt, proportional? #00:04:54-8#

S6: Nein. #00:04:52-9#

L: Das heißt, wenn jetzt die Stoffwechselintensität verdoppelt wird, dann wird auch die Masse hoch $3/4$ verdoppelt und wenn jetzt die Stoffwechselintensität halbiert wird, dann wird zum Beispiel auch die Masse hoch $3/4$ halbiert. Also, wenn man das eine um einen bestimmten Faktor verändert, dann verändert sich das andere um den gleichen Faktor. Und das hoch $3/4$, also diese Hochzahl kennst du auch? #00:05:28-4#

S6: Mhm. #00:05:28-4#

L: Das kennst du, ok. Also wenn man die Masse hoch $3/4$ nimmt und das verändert, dann verändert sich die Stoffwechselintensität um den gleichen Faktor. #00:05:39-8#

S6: Mhm. #00:05:43-1#

Maus/Elefant – Teil I: Stoffwechselintensitäten einiger Tiere (Aufgabe 1)

L: Und beim ersten hast du jetzt eine Maus, die hat eine bestimmte Masse und du kennst auch die Stoffwechselintensität von der Maus und du weißt auch, wie schwer der Elefant ist und du sollst jetzt herausfinden, wie hoch die Stoffwechselintensität vom Elefanten ist. Das kannst du

mit diesem Verhältnis machen. #00:05:59-5#

S6: Also, wenn ich jetzt schaue, wie viel schwerer der Elefant ist im Gegensatz zur Maus. Dann rechne ich das mal $\frac{3}{4}$ und dann hab ich's. #00:06:13-1#

L: Wenn du die Masse vom Elefanten hoch $\frac{3}{4}$ nimmst und die Masse von der Maus auch hoch $\frac{3}{4}$ nimmst und dann schaust, um wie viel das beim Elefanten mehr ist, genau, dann hast du schon einmal diesen Faktor und dann kannst du dir mit dem dann die Stoffwechselintensität vom Elefanten ausrechnen. #00:06:33-0#

S6: Ok... #00:06:33-6#

L: Weißt du, wie du anfängst? #00:06:34-5#

S6: Mhm. #00:06:37-3#

L: Ok, na probier' mal. #00:06:35-7#

S6: Also, ich hab' jetzt 4 t beim Elefant und ich muss schauen.... #00:08:29-0#

L: Also, schauen wir mal... Rechnest du dir vielleicht einmal aus, die Masse von der Maus hoch $\frac{3}{4}$ und die Masse vom Elefanten hoch $\frac{3}{4}$ und schreibst das vielleicht auf. [...] Kannst du vielleicht einmal die Gramm und die Tonnen in Kilogramm umwandeln? Das müssen wir sowieso machen. #00:09:57-4#

S6: Ja. #00:09:57-4#

Nervenzelle – Teil I: Ruhezustand der Nervenzelle (Aufgabe 2)

L: So... (liest vor) Kalium-Ionen können durch einen Kalium⁺-Kanal und durch die Natrium Kalium Pumpe (zwei Kalium-Ionen). Natrium-Ionen können in dem Ruhezustand nur durch die Pumpe, weil der Natrium-Kanal beim Ruhezustand geschlossen ist. [...] Mhm, das passt. Und da geht es jetzt darum, welche es gibt und welche Ladung die haben. Welche Ladung haben die Kalium-Ionen? #00:10:19-4#

Nervenzelle – Teil I: Ruhezustand der Nervenzelle (Aufgabe 1)

S5: Positiv, die sind alle positiv. #00:10:23-7#

L: Aber es gibt auch noch andere Ionen, außer Natrium und Kalium. #00:10:30-0#

S5: Chlor, die sind negativ und die Proteine sind auch negativ. #00:10:34-9#

L: Genau, schreibst du mir die noch auf. #00:10:43-7#

S5: Mhm. #00:11:00-1#

Nervenzelle – Teil I: Ruhezustand der Nervenzelle (Infotext 2)

L: Passt sehr gut, dann erkläre ich dir schon einmal das nächste. Was du wahrscheinlich weißt,

ist, dass sich gleichnamige Ladungen abstoßen, also positiv und positiv stößt sich ab, negativ und positiv zieht sich an. Da die jetzt eben alle eine Ladung haben, die Ladungsträger da im Inneren, ist es hier auch so, dass sich die positiven zueinander abstoßen und negativ und positiv zieht sich an. Das heißt, von alleine stellt sich ein eher ausgeglichener Zustand her, weil, es werden sich nicht alle positiven auf einer Seite sammeln und alle negativen auf der anderen Seite, weil die würden sich alle abstoßen, sondern die vermischen sich eher, weil sich eben positiv und negativ anzieht und es gibt aber eine bestimmte Spannung. Weil, eine Spannung heißt (wie bei der Batterie zum Beispiel) am Pluspol gibt es mehr positive Ladungsträger als am Minuspol, deswegen gibt es eine elektrische Spannung und deswegen ist die Batterie eine Spannungsquelle. Und diese Membran trennt eben das Innere vom Äußeren und zwischen innen und außen gibt's auch eine Spannung, also eine Potentialdifferenz. So heißt das auch, also eine elektrische Potentialdifferenz, weil nicht innen und außen gleich viele positive und negative Ladungsträger sind. Das heißt, das nennt man dann eine Spannung, wenn die Ladungsträger nicht gleichmäßig verteilt sind. Die Ladungen streben dann an, diese Spannung dann wieder auszugleichen. Das ist wie bei der Batterie, wenn die dann angeschlossen wird, dann- #00:12:39-3#

S5: -fließt Strom. #00:12:39-3#

L: Genau. Und hier ist es auch so. Wenn sie eine Möglichkeit haben, zum Beispiel durch den Kanal oder die Pumpe, dann versuchen sie, sich auszugleichen. Dann fließen sie in die bestimmte Richtung, eben, um diese zu verringern. Das ist die elektrische Potentialdifferenz. Und es gibt auch noch eine chemische Potentialdifferenz zwischen innen und außen und das heißt, unabhängig von der Ladung, also positiv und negativ, wollen sich die Teilchen auch noch so verteilen, dass von jeder Sorte gleich viele überall gibt. #00:13:12-4#

S5: Also, dass es gleich konzentriert ist. #00:13:10-5#

L: Genau, dass es gleich konzentriert ist. Also, dass gleich viele Natrium- innen wie außen sind, gleich viel Kalium, gleich viel Chlor, gleich viele Proteine. [...] Das sind die zwei Potentialdifferenzen und dann, was deine Aufgabe ist, du sollst eine Möglichkeit darstellen, wie die elektrische Potentialdifferenz minimal wär'. Also minimal heißt, es gibt keine Potentialdifferenz. [...] #00:13:58-0#

Nervenzelle – Teil I: Ruhezustand der Nervenzelle (Aufgabe 3)

S5: Also, dass es keine Spannung gibt. Durch diese Pumpe und Kanal. #00:14:02-2#

L: Das kannst du jetzt ignorieren. Gute Frage, du brauchst nur einen Strich machen und den Endzustand darstellen. Also, wie das dann wäre im Endzustand, wenn das minimal wäre. #00:14:16-8#

S5: Also, soll ich jetzt nicht berücksichtigen, dass Chlor und Proteine nicht durchkönnen? #00:14:20-3#

L: Genau, das brauchst du nicht berücksichtigen. #00:14:30-0#

Maus/Elefant – Teil I: Stoffwechselintensitäten einiger Tiere (Aufgabe 1)

L: 4000 kg und 0,021 kg, das passt einmal. Jetzt kannst du dir das noch einmal mit hoch 3/4 ausrechnen [...] So und jetzt hast du schon eine gute Idee gehabt: Wie könnte man das Verhältnis

herstellen zwischen der Masse von der Maus hoch $3/4$ und der Masse vom Elefanten hoch $3/4$? #00:16:56-4#

S6: [...] #00:16:57-1#

L: Das was wir wollen ist eben die Stoffwechselintensität vom Elefanten. Also wir kennen Masse Maus, Masse Elefant, Stoffwechselintensität Maus und wir wissen die zwei sind zueinander proportional, das heißt, wenn das eine größer wird, wird das andere auch größer. Das heißt die sind um einen bestimmten Faktor, um eine bestimmte Zahl verschoben. [...] Das heißt, du könntest dir jetzt zum Beispiel einmal diese Zahl ausrechnen. Also, wenn du jetzt die Masse vom Elefanten hoch $3/4$ durch die Masse von der Maus hoch $3/4$ dividierst, dann weißt du, um welche Zahl die Masse von der Maus kleiner ist als die vom Elefanten. Weißt du, wie ich das meine? #00:18:04-6#

S6: Mhm. #00:18:06-1#

Nervenzelle – Teil I: Ruhezustand der Nervenzelle (Aufgabe 3+4)

S5: Also ich hab' sie immer mit jeweils 4 auf einer Seite ausgeglichen. Also auf jeder Seite gibt's vier Natrium, Chlor, Kalium und Proteine. #00:18:27-3#

L: Super! Das schaut auch super aus. Du hast die auch schon so innerhalb verteilt, weil die würden sich innerhalb natürlich auch, nicht nur zwischen der Grenze verteilen. Und das ist jetzt in deinem Fall nicht nur die minimale elektrische Potentialdifferenz, sondern du hast jetzt eigentlich auch schon die nächste Aufgabe gemacht, nämlich, stelle grafisch eine Möglichkeit dar, wie die minimale chemische Potentialdifferenz aussieht. #00:18:54-3#

S5: Das habe ich mir auch gedacht. Nämlich, dass ich da jetzt dasselbe machen würde. [...] Also in dem Fall würde es chemisch und elektrisch ausgeglichen sein. #00:19:02-3#

L: Ja. [...] Weißt du, es hätte nämlich auch die Möglichkeit gegeben, dass du gesagt hättest, du nimmst 4 Natrium und 4 Chlor hier zum Beispiel und 4 Proteine und 4 Kalium hier, dann wäre die elektrische Potentialdifferenz auch 0 gewesen, weil 4 positive und 4 positive und 4 negative und 4 negative gewesen wären, aber die chemische Potentialdifferenz wäre nicht 0 gewesen in dem Fall, weil es da ja nicht homogen verteilt gewesen wäre. #00:19:36-3#

S5: Mhm. #00:19:42-2#

Nervenzelle – Teil I: Ruhezustand der Nervenzelle (Aufgabe 5)

L: Dann kannst du nachdenken, wenn wir uns jetzt die Situation anschauen mit der Pumpe und der Kanal ist geöffnet und die Pumpe ist aktiv. Die Pumpe transportiert immer 3 Natrium raus und 2 Kalium rein und durch den Kalium Kanal können sie wandern, ob die Teilchen den Kalium-Kanal nutzen werden. #00:20:08-5#

S5: Ich denk schon, weil es dürfen mehr, es dürfen immer drei Natrium raus, aber nur zwei Kalium rein, deswegen würde ich immer ein Kalium durch den Kanal, damit immer 3 zu 3 ausgetauscht wird. #00:20:24-2#

L: [...] Ah, du meinst, dass genau für die zwei die da jetzt reingehen genau immer eines dann da reinginge. Wenn das jetzt so wäre, dann würde sich die Trennung zwischen Natrium und

Kalium ja noch verstärken. Von der chemischen Potentialdifferenz her... Weil dann würde hier immer nur Natrium weggenommen und hier immer Kalium weg, Kalium weg, Kalium weg und hier auch noch Kalium weg. Das heißt, dann würden irgendwann einmal hier ganz viele Natrium sein und hier ganz viele Kalium. #00:21:13-2#

S5: Ich habe mir das eigentlich nur gedacht, bis sie ausgeglichen sind und danach wird die Pumpe nicht mehr verwendet. Oder muss sie dauernd verwendet werden? #00:21:19-9#

L: Nein, muss sie nicht. Aber es gleicht sich ja nicht aus. #00:21:29-5#

S5: Aso, ja... #00:21:31-1#

L: Weil die trennt ja eigentlich. Sie trennt Natrium und Kalium. #00:21:41-8#

S5: Mhm. #00:21:45-9#

L: Und wenn du hier auch noch Kalium hinzugibst, dann trennt das noch mehr das Kalium weg. Und nach der Potentialdifferenz möchten sich die ja eher ausgleichen. Und die Pumpe trennt aber eher. Das heißt, die Frage ist jetzt, ob der Kalium-Kanal genutzt werden kann, um die Potentialdifferenz auszugleichen oder nicht. #00:22:03-4#

S5: Von den Natrium her eher weniger, weil man's gerade nicht nutzen kann im Ruhestand, aber zumindest kann man Kalium bis es 50-50 ist transportieren. #00:22:27-6#

L: Genau, Natrium kann jetzt eigentlich nichts machen, es geht jetzt nur um Kalium. Es gibt jetzt eben die Möglichkeit, dass man sich fragt: Wollen die Kalium zurück von innen nach außen zurückwandern? Was spricht dafür und was spricht dagegen? #00:22:52-4#

S5: Also sind gerade hier mehr Kalium. Und hier weniger. #00:22:52-9#

L: Genau. [...] Denk mal nach über die Potentialdifferenz. Ob die elektrische Potentialdifferenz dadurch verringert wird und ob die chemische Potentialdifferenz dadurch verringert wird. #00:23:26-1#

Maus/Elefant – Teil I: Stoffwechselintensitäten einiger Tiere (Aufgabe 1)

L: Du hast dir das jetzt ausgerechnet, dieses Verhältnis. Gut. Dann weißt du ja auch noch die Stoffwechselintensität von der Maus. Das heißt, wenn du die jetzt mit 9117 multiplizierst, dann müsstest du eigentlich die Stoffwechselintensität vom Elefanten haben. #00:24:01-9#

S6: Ok. #00:24:56-6#

Maus/Elefant – Teil I: Stoffwechselintensitäten einiger Tiere (Aufgabe 2)

L: Gut. Jetzt haben wir da so eine Tabelle, die erklär ich dir. Da hat man durch Messen herausgefunden, wie groß die Stoffwechselintensität von verschiedenen Tieren ist. Du sollst jetzt überprüfen, wie genau dieses Ergebnis für den Menschen, also diese 80 Watt, sind. Das heißt, du kannst es jetzt genauso machen wie da oben. Du kennst die Masse vom Menschen und du kannst mit irgendetwas anderem vergleichen. #00:26:12-6#

S6: Ich mach's mit der Kuh. #00:26:18-5#

L: Ok, ist mir auch recht. #00:26:25-9#

Nervenzelle – Teil I: Ruhezustand der Nervenzelle (Aufgabe 5)

L: (liest vor) Man kann die K^+ Ionen vom Zellinneren ins Zelläußere bringen. Damit wird die chemische Potentialdifferenz verringert, aber die elektrische vergrößert. [...] Kannst du mir das erklären, wie du auf das kommst, dass die chemische verringert, aber die elektrische vergrößert wird? #00:27:22-5#

S5: Also, wenn hier dauerhaft Kalium-Ionen reinkommen und hier dauerhaft mehrere nach außen geschickt werden durch diesen Kanal. Das Problem würde sein, dass hier mehr Teilchen sein würden, deswegen würden sich der elektrische vergrößern, aber chemisch würde es sich für die K^+ -Ionen eigentlich ausgleichen. #00:27:49-1#

Nervenzelle – Teil I: Ruhezustand der Nervenzelle (Aufgabe 6)

L: Mhm, super. Jetzt befinden sich die im Gleichgewicht. Wie du gesagt hast, das passiert jetzt so lange, bis- auf 0 kann's ja nicht kommen, weil das liegt daran, eine chemische Potentialdifferenz muss immer bestehen, weil die negativen Ladungsträger können nicht wandern. Das heißt, die chemische Potentialdifferenz von den Proteinen und vom Chlor kann sich nicht ausgleichen, die sind ja total getrennt. Das heißt, die Pumpe läuft so lange, bis die elektrische und die chemische Potentialdifferenz gleich groß sind. [...] In diesem Gleichgewicht hat man dann diese Potentialdifferenz von -70 mV. Die ist beim Menschen im Ruhezustand so groß. Wir haben das eh schon ein bisschen gemacht, aber wenn du jetzt hast -70 mV, was gibt dir das dann an? #00:29:05-8#

S5: Spannung entsteht durch den Unterschied zwischen positiven und negativ geladenen. Wie Sie erklärt haben mit dem Südpol und Nordpol und das bedeutet, dass noch eine -70 mV Spannung herrscht, also ist es noch nicht, es herrscht noch immer eine ungerade Anzahl von Teilchen sozusagen. Sie sind nicht ausgeglichen, sonst würde diese Spannung nicht herrschen. #00:29:34-0#

L: Genau und die -70 mV, wie sind die verteilt? Was sagen uns die -70 mV? #00:29:58-5#

S5: Eigentlich gibt es außen, gibt es hier mehr gleichen. Also ist hier sozusagen der Nordpol? #00:30:10-1#

L: Nordpol gibt's beim Magneten. Es gibt einen Pluspol und einen Minuspol. #00:30:18-4#

S5: Ja, einen Pluspol und das ist hier und da ist der negative und deswegen fließen sie auch immer hierhin, weil sie sich ausgleichen wollen, aber das geht nicht ganz. #00:30:27-6#

L: Mhm. Genau, was du jetzt schon richtig gesagt hast, hier sind mehr negative Ladungsträger. Das heißt die -70 mV beziehen sich auf das Innere. Das heißt, das Innere ist um -70 mV negativer als das Äußere. Das ist die Bedeutung von den -70 mV. Kannst du das vielleicht noch irgendwie in eigenen Worten ganz kurz beantworten? #00:30:59-0#

Maus/Elefant – Teil I: Stoffwechselintensitäten einiger Tiere (Aufgabe 2)

L: Du hast jetzt die Masse wieder jeweils hoch $\frac{3}{4}$ gerechnet und jetzt möchten wir wieder diesen Faktor. Wie haben wir das letztes Mal gemacht, weißt du das noch? #00:31:33-9#

S6: Ja. [...] #00:32:53-8#

L: Wie kommst du dann auf die Stoffwechselintensität vom Menschen? #00:33:25-5#

S6: Durch 5 genau, super. #00:33:30-8#

Nervenzelle – Teil II: Zelle empfängt Reiz (Aufgabe 1)

L: (liest vor) Da außen mehr Ionen sind, herrscht eine Spannung von -70 mV, die sich auf das Zellinnere bezieht. Es gibt immer eine Spannung. [...] Genau, sehr gut, gehen wir zum nächsten. Bis jetzt ist es eben so: Die Zelle ist in Ruhe und wartet auf einen Reiz und jetzt kommt dann der aktive Zustand, wenn zum Beispiel ein Lichtstrahl ins Auge trifft oder man auf eine heiße Herdplatte greift. Die Zelle reagiert nur, wenn ein bestimmter Schwellenwert der Spannung überschritten wird, wenn der Reiz stark genug ist, könnte man sagen. Wenn der Reiz zu schwach ist, dann reagiert die Zelle nicht, aber wenn der -40 mV überschreitet, dann reagiert die Zelle und die reagiert dann so, dass sie diese Natrium-Kanäle, die bis jetzt ja verschlossen waren, dass sie die öffnet. Und jetzt möchte ich, dass du so ähnlich wie vorhin beim Kalium-Kanal überlegst, ob die Natrium-Ionen diesen Kanal nutzen werden, wenn der geöffnet wird. Also, was da dafür und was da dagegen spricht, dass sie den nutzen und in welche Richtung die dann fließen. #00:34:36-3#

S5: Ok. Also die Spannung wird dann weniger als vorhin, wenn sie gereizt sind. #00:34:40-8#

L: Genau. #00:34:44-4#

S5: Ok? Aber ich versteh nicht, wie sie dann ausgeglichen sind, wie die Spannung auf -40 kommen kann bei einem Reiz. Denn der Unterschied herrscht durch die Zellen, die außen und innen sind und wie sie durch einen Reiz jetzt weniger wird. #00:35:07-8#

L: Mhm. Es kommt ein Reiz und dieser Reiz öffnet den Natrium-Kanal und dieser Natrium-Kanal und durch diesen Natrium-Kanal verringert sich dann die Spannung. Weil die Natrium-Ionen da eben durchfließen durch diesen Kanal. Das verringert dann die Spannung. #00:35:31-2#

S5: Ah, ok. #00:35:35-3#

Maus/Elefant – Teil I: Stoffwechselintensitäten einiger Tiere (Aufgabe 2)

S6: Ich hab's mit dem Hund gemacht. #00:36:20-3#

L: Kennst du dich jetzt aus, wie man das rechnet? Was ist bei der Kuh herausgekommen? #00:36:20-3#

S6: 76. #00:36:22-2#

L: Gut. Wie ist dieses Ergebnis verglichen mit dem, was da steht in der Tabelle? #00:36:23-5#

S6: Um 4 Watt weniger. #00:36:40-2#

L: Ja genau, ungefähr. Weißt du auch, welche Größenordnung das ist? Wenn man jetzt sagt im Einerbereich, Zehnerbereich, Hunderterbereich, Tausenderbereich? Was ist das für ein Bereich? Die Abweichung meine ich jetzt, um wie viel es um ist? #00:36:59-3#

S6: Zehnerbereich. #00:36:57-2#

L: Eher Einerbereich, weil du hast ja nur 4 und 4 ist zwischen 1 und 10. #00:37:09-1#

S6: Ok. #00:37:12-0#

Maus/Elefant – Teil II: Grundumsätze einiger Tiere (Infotext 2)

L: Ok, dann darfst du umblättern. Dann erkläre ich dir das nächste. Ein Mensch braucht eine bestimmte Energiemenge, Tiere natürlich auch, wenn er sich nicht bewegt, damit die Organe arbeiten oder damit wir atmen können, damit das Herz schlagen kann und das Gehirn denken kann usw. Diese Energiemenge sind beim Menschen 7000 kJ ungefähr, wenn man 70 kg hat. Bei dir wird's ein bisschen weniger sein, bei mir ist es auch ein bisschen weniger, aber für einen 70 kg schweren Menschen sind es 7000 kJ und bei der Maus ist dieser Grundumsatz pro Gramm ihres Körpergewichts um 65-mal höher als beim Menschen und beim Elefanten ist der Grundumsatz 200-mal höher als der von der Maus.

Maus/Elefant – Teil II: Grundumsätze einiger Tiere (Aufgabe 3)

Und du sollst jetzt ausrechnen, wie groß der Grundumsatz von der Maus ist und vom Elefanten, weil wir wissen ja schon, wie schwer die Maus und der Elefant sind. Das wissen wir schon von vorher. Kennst du dich aus? Magst du einmal kurz nachdenken? Du musst jetzt einmal ausrechnen, wie hoch der Grundumsatz der Maus pro Gramm ist. Der ist nämlich 200-mal höher als der des Menschen. Vom Menschen kennen wir den gesamten Grundumsatz, aber wir kennen noch nicht den pro Gramm. #00:40:03-6#

S6: Mhm. #00:40:03-6#

Nervenzelle – Teil II: Zelle empfängt Reiz (Aufgabe 2)

L: (liest vor) ...durch die Pumpe, damit später wieder eine -70 mV-Spannung herrscht. Das musst du mir erklären. #00:40:17-0#

S5: Sobald der Reiz aufgenommen und weitergegeben wird an die andere Zelle, sollte es wieder in den Ruhestand kommen. Das wird wieder hier geschlossen und die Natrium-Ionen, die jetzt drinnen waren, das zum Ausgleich geführt hat teilweise, sollten durch die Pumpe wieder hinausgeschickt werden. Somit ist dann wieder eine größere Differenz und da ist wieder eine größere Spannung sozusagen. #00:40:45-1#

L: Ja, also was dann tatsächlich passiert, wenn dieser Reiz da war und sich die Differenz verringert hat, dann- Dieser Natrium-Kanal ist nur sehr kurz geöffnet. In der Zeit bewegen sich die Natrium-Ionen durch den Kanal, aber wenn der dann wieder geschlossen ist, dann öffnet sich kurze Zeit später wieder der Kalium-Kanal. Und dann stellt sich durch den Kalium-Kanal

wieder der ursprüngliche Zustand her. Weil der war vorher auch geöffnet, aber während dem aktiven Prozess ist er nicht in Aktion, aber dann wenn das mit dem Natrium abgelaufen ist, dann stellt der den Ruhezustand wieder her quasi. #00:41:34-8#

S5: Ok, also das war nicht die Pumpe. #00:41:40-3#

L: Naja teilweise. Auch die Pumpe. Beides, auch der Kalium-Kanal. Also die beiden stellen den Ruhezustand her und der Natrium-Kanal verringert die Spannung. #00:41:49-2#

S5: Ja. #00:41:51-6#

L: Spricht die elektrische Potentialdifferenz dafür, dass sie wandern? Hast du über das auch nachgedacht? #00:41:55-3#

S5: Nein. Eigentlich nicht, denn da sind schon Chlor- Ionen und Natrium+. Das ist dann halt Natrium-Chlorid. Vielleicht würden sie wegen den Proteinen rüberkommen, weil die negativ geladen sind. #00:42:24-9#

L: Sagst du mir noch einmal, wo mehr positive Ladungsträger sind? #00:42:27-8#

S5: Aso, ja, außen, deswegen würden sie reingehen wollen, weil da im Vergleich zu dem mehrere negative sind. Deswegen würden sie reinfließen, um die elektrische Differenz zu verringern. #00:42:41-9#

L: Mhm und wie ist es mit der chemischen? #00:42:50-4#

S5: Sie würden reinfließen, denn da sind viel weniger Natrium+-Ionen und da sind mehr Kalium-Ionen. Sie würden in beiden Fällen reingehen wollen. #00:43:01-6#

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Infotext 3 + Abbildung 2)

L: Genau, super. Da ist ein extremer Stromfluss. Es spricht alles dafür. Viel stärker als hier, weil hier ist es nur ein Teil, aber hier spricht alles dafür, chemische und elektrische Potentialdifferenz, das heißt, die 1-3 ms, wo der Kanal geöffnet wird, geht alles durch, was geht. Und ich glaube, das zweite haben wir schon ein bisschen besprochen. Also, wie sich die Potentialdifferenz verringert, das hast du eigentlich schon gesagt, dass sich die Spannung verringert. [...] Dann kommen wir zum Experiment, das erklär ich dir jetzt. Man kann sich die Nervenzelle als elektrischen Stromkreis vorstellen, weil da fließen ja auch Ströme und es laufen elektrische Prozesse ab, das heißt, man kann das auch darstellen mit elektrischen Bauteilen. Man kann bestimmte Bestandteile der Zelle mit bestimmten elektrischen Bauteilen vergleichen von der Funktion her, also was sie tun. Und ein Bauteil, das du wahrscheinlich noch nicht kennst [...] Kennst du den Kondensator? #00:44:32-7#

S5: Ich hab's schon mehrmals gehört, eigentlich schon. #00:44:39-9#

L: Ok, ich erklär's dir noch einmal kurz. Ein Kondensator besteht aus zwei Platten, zwei Leiter, die getrennt sind durch eine isolierende Schicht, ein Vakuum zum Beispiel. Die Ladungen können hier über diese isolierende Schicht nicht drüber. Das ist quasi getrennt. #00:45:08-6#

S5: Also wie der Membran sozusagen, wenn der geschlossen sein würde. #00:45:10-7#

L: Sozusagen. Es gibt da etwas dazwischen, wo die Ladungen nicht drüber können. Wenn man den Kondensator jetzt in einen Stromkreis einbaut, dann lädt sich der. Das heißt, die eine Seite bekommt einen Ladungsüberschuss, je nachdem halt, wie die Gleichspannungsquelle angeschlossen wird, in die eine Richtung fließt der Strom, [...] physikalisch gesehen von minus nach plus fließt der Strom. Das heißt, die Minus-Seite bekommt einen Überschuss an Elektronen, weil die können aber hier nicht weiter, das heißt, hier dazwischen entsteht ein Ungleichgewicht, weil die kommen hier her und können aber nicht durch und hier verändert sich nichts. Der Kondensator, sagt man, lädt sich auf. Der wird geladen dadurch, dass die Ladungsträger dann auf die eine Seite wandern. Und man kann diesen Kondensator dann später, wenn der geladen ist, selbst als Spannungsquelle einsetzen. Das heißt, wenn der im geladenen Zustand ist, kann man den in einen Stromkreis einbauen und wenn er verbunden ist mit einem Verbraucher, zum Beispiel einem Lämpchen, gibt er seine Ladung wieder ab. Also dann fließt die Ladung als Stromfluss wieder ab und die Platten entladen sich wieder. So funktioniert ein Kondensator und der funktioniert jetzt so ähnlich, wie die Nervenzelle. Versuch einmal zu überlegen, die verschiedenen Bestandteile der Nervenzelle [...], die Zellmembran, die Natrium-Kalium-Pumpe und die Kanäle, dass du dir überlegst, welchem physikalischen Bauteil, also Spannungsquelle, Kondensator, Widerstand die entsprechen. #00:47:00-4#

S5: Ok. #00:47:00-9#

L: Und vier Striche sollen es sein, weil die Zellmembran sollst du mit zwei Dingen verbinden und die Spannungsquelle auch mit zwei Dingen, also am Ende 4 Striche, 3 Dinge, aber 4 Striche.

#00:47:11-9#

Maus/Elefant – Teil II: Grundumsätze einiger Tiere (Aufgabe 3)

L: Gut, du hast ein einmal 1 g sind 0,1 kJ, weil du dir gedacht hast [...] 7000 durch 70.000 ist 0,1 oder? #00:47:36-9#

S6: Ja. #00:47:38-4#

L: Ok, also pro Gramm braucht der Körper 0,1 kJ beim Menschen. Die Maus braucht 65-mal mehr, das heißt die Maus braucht 6,5 kJ pro Gramm und wenn man das mit ihrer Masse dann multipliziert, nämlich den 21 g, kommt man auf 136, 5 kJ. [...] Das stimmt. Und beim Elefanten ist 1 g [...] 200-mal weniger als bei der Maus... #00:48:46-0#

S6: Ja, dann hab' ich das falsch. #00:49:27-4#

[S6 rechnet] #00:50:08-5#

L: Du hast das jetzt mit Kilogramm gerechnet, aber du brauchst das in Gramm. Da fehlen dir ein paar Nullen. [...] Sehr gut. Und dann... Elefanten fressen hauptsächlich Gras, das weißt du vielleicht und die brauchen ziemlich viel Gras. 1kg Gras hat eine Energiemenge von 6 Megajoule. Weißt du, was Mega bedeutet? #00:50:55-9#

S6: Nein. #00:50:56-0#

L: 1 kJ sind 1000 Joule und 1 MJ sind 1 Millionen Joule. #00:51:01-2#

S6: Also ein 1 Megajoule sind 1000 Kilojoule. #00:51:11-9#

L: Genau. Also, 1 kg Gras hat eine Energiemenge von 6 MJ, also von 6 Millionen Joule oder 6000 kJ. Und jetzt sollst du berechnen, wie viele kg Gras ein Elefant fressen muss, um seinen Grundumsatz, den kennen wir ja schon zu decken. #00:51:43-7#

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Aufgabe 1)

L: Erklär mir mal, wie du drauf gekommen bist. #00:51:45-8#

S5: Bei der Zellmembran kann ich mir vorstellen, dass es der Kondensator ist, weil's nicht durchlässt und weil es deswegen auch einen Widerstand hat. Und danach, dass die Kalium-Kanäle die Spannungsquelle sind und die Pumpe auch. #00:52:11-7#

L: Ja, es passt so. Weil die zwei stellen die Spannung her, dadurch dass sie eben wechseln. #00:52:21-1#

S5: Da ist mir dann sozusagen die Pumpe übrig geblieben und dann mussten eben zwei verbunden werden und dann war es klar, dass es das sein wird. #00:52:28-3#

L: Ok, also nach Ausschlussverfahren bist du eigentlich vorgegangen. #00:52:34-8#

S5: Ich glaube, ich hätte es auch so vermutet, aber ich wollte zuerst die anderen machen, wo ich mir sicherer bin und danach blieb eh das über. #00:52:44-2#

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Aufgabe 2)

L: Wie gesagt, die zwei stellen die Spannung her und die Membran trennt und ist der Widerstand, der verhindert, dass der Strom fließt einerseits und andererseits wird geladen. Gut, jetzt sollst du das als Schaltskizze darstellen. Kennst du die Schaltsymbole? #00:53:03-5#

S5: Nicht sehr. Also, ich hab' schon damit gearbeitet, aber es ist schon ziemlich lang her. #00:53:08-8#

L: Ok. Für die Spannungsquelle ist es ein kurzer Strich und ein langer Strich, beim Kondensator sind es zwei gleich lange Striche und der Widerstand, wir machen einfach ein Lämpchen, normalerweise wäre es ein Rechteck. Bau die in einen einfachen Stromkreis ein zum Erreichen vom Ruhezustand. Wie schaut denn der einfachste mögliche Stromkreis aus? #00:53:48-9#

S5: Eine geschlossene einfach. #00:53:55-3#

L: Genau, wo alle hintereinander sind. #00:53:55-3#

S5: Ich bin mir nur jetzt unsicher, ob zuerst das oder das kommt. #00:53:57-7#

L: Das ist egal. #00:54:03-3#

S5: Also einfach einen geschlossenen. #00:54:06-3#

L: Und dann kannst du dir überlegen, was man verändern muss, wenn dann die Zelle aktiv ist. Also im Ruhezustand wird quasi der Kondensator geladen, weil sich eben die Spannung aufbaut

und im aktiven Zustand wird er entladen. #00:54:31-4#

Maus/Elefant – Teil II: Grundumsätze einiger Tiere (Aufgabe 4)

L: Du hast dir überlegt: 130.000 kJ ist die Energie, die der Elefant täglich fressen muss und das dividiert durch 6000 kJ [...] und da kommt raus 21,6 kg. Das passt super. Wie viel müsste der Elefant fressen, wenn der so viel Grundumsatz pro Gramm hätte wie die Maus. Also angenommen er hätte nicht 130.000 kJ, sondern er hätte pro Gramm nicht 0,0325 kJ, sondern er hätte wie die Maus 6,5 kJ. #00:55:32-9#

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Aufgabe 2)

L: Mhm, das ist jetzt der Ruhezustand. Und im aktiven Zustand, was muss man da verändern? #00:56:00-4#

S1: Da muss irgendwie dann das leuchten. Es ist das Einzige, was mir einfällt, ich weiß nicht, ob es stimmt, aber die Reihenfolge von dem ändern. #00:56:21-9#

L: Überleg dir mal, ich gebe dir einen Tipp, man muss eines von den drei Dingen wegnehmen. #00:56:33-6#

S1: Dann würd' ich den Kondensator wegnehmen. #00:56:35-1#

L: Was hättest du dann, wenn du den Kondensator weghättest? #00:56:36-5#

S5: Dann würde.... Der Kondensator, den haben wir als Zellmembran vorgestellt, die nichts durchlässt. In dem Fall wird da was durchgelassen und deswegen leuchtet die Lampe, also ist es in einem aktiven Zustand. #00:56:53-0#

L: Ja, die Membran ist ja trotzdem im aktiven Zustand auch noch da. #00:57:00-1#

S5: Aber sie ist sozusagen geöffnet, also es sind die Kanäle geöffnet, also kann es durchlaufen. #00:57:07-6#

L: Zumindest Teils-Teils. Was es nicht mehr gibt, ist die Spannungsquelle, weil die Spannungsquelle stellt die Spannung her und das sind die Natrium-Kalium-Pumpe und die Kalium-Kanäle und die sind im aktiven Zustand nicht mehr da. [...] Das heißt, die Spannungsquelle ist weg, weil sonst wäre es auch unnötig, den Kondensator zuerst zu laden, wenn wir den später nicht wieder entladen. Der wird geladen im Ruhezustand und im aktiven Zustand wird die Spannung nicht mehr aufgebaut, sondern die Spannung, die bereits hier geladen wurde kann sich dann entladen. #00:58:00-2#

S1: Ok. #00:58:04-0#

Maus/Elefant – Teil I: Grundumsätze einiger Tiere (Aufgabe 5)

L: Ja das passt. Jetzt denken wir einmal drüber nach, wie sich die Stoffwechselintensität und der Grundumsatz [...] bei kleinen und bei großen Tieren unterscheiden. #00:58:34-5#

Maus/Elefant – Teil I: Grundumsätze einiger Tiere (Aufgabe 6)

S6: Kleine Tiere müssen mehr fressen. #00:58:51-9#

L: Im Verhältnis zu was? #00:58:59-2#

S6: Im Verhältnis zu ihrem Körpergewicht. #00:59:02-1#

L: Genau. Weil man sieht, wenn der Elefant so viel fressen müsste wie die Maus im Verhältnis zu seinem Körpergewicht, dann müsste er mehr fressen als sein eigenes Körpergewicht. [...] Aber zum Glück muss er nicht so viel fressen wie die Maus. Du kannst es jetzt noch aufschreiben. #00:59:34-9#

S6: Die Maus frisst viel mehr als der Elefant. #00:59:34-9#

L: Im Verhältnis zu ihrem Körpergewicht. #00:59:54-9#

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Aufgabe 3+4)

L: Eines muss ich dir noch sagen zum Kondensator. Das, wo da + steht, muss auch mit dem Pluspol von der Spannungsquelle verbunden werden. #01:00:08-7#

(Experiment wird weiter aufgebaut) #01:02:02-7#

L: Das war jetzt ganz kurz. #01:02:02-7#

S5: Würde es funktionieren, wenn ich es ausstecke und nochmal einstecke? #01:02:02-7#

L: Wenn du das aussteckst und nochmal einsteckst, würde sich gar nichts tun, weil der Kondensator schon geladen ist. #01:02:03-9#

S5: Ahhh. #01:02:08-1#

L: Wir müssen den erst wieder entladen. Was machen wir, wenn wir den entladen? #01:02:07-2#

S5: Wenn wir den entladen, müssen wir die Spannungsquelle sozusagen wegtun, also den ausschalten. #01:02:16-7#

L: Genau. #01:02:23-3#

S5: Also das ausschalten und dann das wieder einstecken und das wieder aufschalten. #01:02:26-7#

L: Noch nicht. [...] Wenn wir den jetzt entladen wollen, müssen wir den Stromkreis erst mal schließen. Der bleibt jetzt so lange geladen, solange der keine Möglichkeit hat, sich zu entladen und da es hier ja nicht weitergeht und der Stromkreis nicht geschlossen ist, kann sich der jetzt nicht entladen. #01:02:42-7#

S5: Ja. Ich hab‘ keine Ahnung, wie ich das machen kann. #01:02:57-8#

L: Nimm einfach das Kabel, das rote. #01:02:56-4#

S5: Ach so ja. #01:03:11-1#

L: Da hat man jetzt nichts gesehen. Wir probieren es noch einmal. [...] Jetzt hat man's gesehen. Das ist das, was in der Zelle passiert. Das Lämpchen symbolisiert das jetzt, das ist zeigt das durch das Leuchten- #01:04:12-8#

S5: -dass das aktiv ist. #01:04:12-9#

Maus/Elefant – Teil III: Verhältnis zwischen Körperoberfläche und Volumen einiger Tiere (Aufgabe 7)

L: Eine Maus hat einen Durchmesser [...] von ca. 3,4 cm. Wir sollen jetzt ausrechnen wie viel Körperoberfläche die Maus hat und wie viel Volumen, wenn der Körper der Maus als rund angenommen wird. Weißt du, welcher Körper der rundeste Körper ist. #01:05:12-7#

S6: Kugel. #01:05:12-9#

L: Ja, also wir nehmen es als Kugel an. Natürlich ist eine Maus keine Kugel, aber wir nehmen jetzt einmal an, dass es eine Kugel wäre. Dann müssten wir wissen, wie man sich die Oberfläche einer Kugel ausrechnet. Hast du das schon einmal gehört? #01:05:32-2#

S6: Haben wir noch nicht gemacht. #01:05:34-1#

L: Die Oberfläche O von der Kugel ist $4 \pi r^2$ und das Volumen V ist $\frac{4}{3}$ mal π mal r^3 . Das kannst du jetzt ausrechnen, aber Achtung, r ist nämlich der Radius und wir haben in der Angabe den Durchmesser. Weißt du, wie Durchmesser und Radius zueinander stehen? #01:06:15-8#

S6: Ist die Hälfte. #01:06:16-0#

L: Genau. Dann kannst du es ausrechnen. #01:06:52-3#

S6: Also mal dann den Radius hoch 3. #01:06:53-1#

L: Genau. #01:06:53-1#

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Aufgabe 3+4)

L: (liest vor) Also im aktiven Zustand leuchtet es nicht. Im aktiven Zustand leuchtet es schon auch kurz. #01:07:15-6#

S5: Aber vorher hat es länger geleuchtet. #01:07:15-6#

L: Da, wo es länger geleuchtet hat, das war genau da, wo wir das eine beim Wechselstrom angesteckt haben. Da beim Laden vom Ruhezustand hat es auch nur kurz geleuchtet. Also, es ist beides kurz. #01:07:28-7#

S5: Ja. #01:07:34-2#

L: Warum leuchtet das kurz? #01:07:47-8#

S5: Also im aktiven? #01:07:48-7#

L: Fangen wir einmal im Ruhezustand an. #01:07:46-5#

S5: Im Ruhezustand, weil es eine Spannung hat, die ausgeglichen werden sollte. Und die negativen Teilchen wandern zum positiven. #01:08:06-0#

L: Wann leuchtet generell das Lämpchen? #01:08:14-1#

S5: Wenn da eine größere Spannung ist, wenn da Teilchen durchfließen. #01:08:24-3#

L: Es gibt eine Spannung und es gibt einen Stromfluss ist. [...] Dann leuchtet das Lämpchen. Das heißt, Strom muss fließen. Beim Ruhezustand hat es kurz geleuchtet und dann gar nicht mehr. #01:08:42-0#

S5: Weil sie sich ausgeglichen haben währenddessen oder weil's beim Kondensator aufgeladen wurde. Ja, weil es beim Kondensator aufgeladen wurde. #01:08:49-7#

L: Und wenn der geladen ist, dann fließt kein Strom mehr, weil, wenn der jetzt hier aufgeladen ist und hier kann es ja nicht durch, dann ist der Stromfluss beendet. #01:09:10-0#

S5: beendet, ja. #01:09:10-4#

L: Das heißt, das fließt nur so lange, bis sich das aufgeladen hat, wenn sich das aufgeladen hat, ist es vorbei. Und beim aktiven Zustand? Wieso leuchtet es da nur kurz? #01:09:19-3#

S5: In dem Fall gleichen sie sich jetzt dann aus und da ist dann die Differenz minimiert. #01:09:28-3#

L: Das ist jetzt relativ schnell, dass sich die ausgleichen, weil der Kondensator stellt nicht so eine große Spannung bereit und quasi das Lämpchen leuchtet so lange, solange er sich entlädt. #01:09:44-4#

S5: Und dann ist es auch vorbei. #01:09:44-6#

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Aufgabe 5)

L: Du kannst dir jetzt überlegen, was sich verändern würde, wenn wir einen Kondensator mit einer größeren Kapazität hätten. Kapazität heißt, wenn der mehr Ladung speichern könnte und was sich verändern würde, wenn wir einen größeren Widerstand hätten? #01:10:07-4#

S5: Bei der größeren Kapazität würde es wahrscheinlich länger leuchten, weil es auch länger dauert, bis sie sich ausgleichen und beim Widerstand [...] kann ich's mir irgendwie grad nicht vorstellen, was passieren würde. #01:10:32-8#

L: Naja entweder, würde die Spannung nicht ausreichen, also je größer der Widerstand ist, desto mehr Spannung braucht man, damit das Lämpchen leuchtet. Das heißt entweder, wenn wir dieselbe Spannung nehmen würden, wär' die Spannung nicht groß genug, um es zum Leuchten zu bringen oder der Kondensator könnte nicht genug Ladung speichern, um das Lämpchen zum

Leuchten zu bringen. #01:11:11-7#

S5: Also würde es nicht leuchten. Also würde das Lämpchen mehr Kapazität brauchen, damit es leuchten kann mit diesem Widerstand. #01:11:22-7#

L: Das kannst du aufschreiben. #01:11:20-8#

Maus/Elefant – Teil III: Verhältnis zwischen Körperoberfläche und Volumen einiger Tiere (Aufgabe 8)

L: Das passt und das zweite [...] vielleicht hast du dich irgendwo vertippt [...] Wenn jetzt der Durchmesser vom Elefanten 3,4 m beträgt, um das Wievielfache würde sich die Oberfläche bzw. das Volumen vergrößern? Die Maus hat 3,4 cm und der Elefant hat 3,4 m. #01:13:21-6#

S6: Mal 100 eigentlich. #01:13:22-6#

L: Genau, bei denen wäre es mal hundert, bei der Länge. Aber bei der Oberfläche und beim Volumen, um wie viele Nullen geht's da? #01:13:43-7#

S6: [...] #01:13:44-0#

L: Da müsstest du jetzt wissen, wie viele Quadratzentimeter ein Quadratmeter sind... #01:13:55-8#

S6: 10.000. #01:14:00-3#

L: Und beim Volumen hast du das hoch 3, das heißt, da musst du nochmal mehr Nullen dazugeben. [...] #01:14:22-0#

S6: 1 Million? #01:14:35-4#

L: Ja, weil du 3 brauchst von Kubikmeter auf Kubikdezimeter und dann nochmal drei auf Kubikzentimeter. Und vorher waren es zwei von Quadratzentimeter auf Quadratdezimeter und nochmal zwei auf Quadratmeter, deswegen waren es 4 oben und unten sind es jetzt 6. #01:15:03-2#

S6: Also die Oberfläche mal 10.000 und das Volumen mal 1.000.000. #01:15:03-9#

L: Genau. #01:15:06-9#

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Infotext 4)

L: Die Kapazität gibt an, wie viel Ladung der Kondensator speichern kann und die misst man in Farad [...] und die kann man mit einer Formel berechnen und dabei ist C die Kapazität, dieses Epsilon rel ist die Dielektrizitätszahl von Biomembranen, das ist einfach eine bestimmte elektrische Konstante für Zellmembranen. Die elektrische Feldkonstante ist immer gleich [...], A ist der Flächeninhalt und d ist der Abstand zwischen den beiden Platten, in unserem Fall ist das die Dicke der Membran. Und wir haben da jetzt ein Rechenbeispiel, wo du dir ausrechnen sollst, wie groß die Kapazität ist von einer Membran im Rückenmark, die eine Länge von 1m hat. #01:16:21-3#

S5: Ok und was ist nochmal e rel als Zahl? #01:16:33-2#

L: Die Dielektrizitätszahl für Biomembranen beträgt 3. #01:16:36-6#

S5: Ok, also sollte ich die Zahlen eigentlich einsetzen. #01:16:41-1#

L: Du solltest alles gegeben haben außer der Fläche, weil da hast du nur die Länge und den Radius und du weißt, es ist ein Zylinder. #01:17:03-8#

Maus/Elefant – Teil III: Verhältnis zwischen Körperoberfläche und Volumen einiger Tiere (Aufgabe 9)

L: Aus statischen Gründen benötigen große Tiere ein stabileres Skelett als kleine Tiere. Bei der Maus macht das Skelett 5 % der Masse aus, beim Elefanten 30 %. Überleg dir, wie das mit dem geringeren Grundumsatz und der geringeren Stoffwechselintensität des Elefanten zusammenhängt. #01:17:58-9#

L: Denken wir mal so nach... Denkst du, verbraucht das Skelett im Körper viel oder wenig Energie. #01:18:12-5#

S6: Wenig. #01:18:13-9#

L: Warum denkst du wenig? #01:18:13-9#

S6: Weil es ein Skelett ist, das macht nichts. Und weil der Elefant mehr Skelett hat, braucht er weniger. #01:18:29-3#

L: Genau. #01:18:41-0#

Nervenzelle – Teil III: Experiment (Aufgabe 6)

L: Bist du schon draufgekommen mit dem Zylinder? #01:18:48-3#

S5: Wenn man den Radius weiß, kann man auch den Umfang berechnen und dann Umfang mal der Länge ist die Fläche. #01:19:03-3#

L: Genau, super. #01:19:09-5#

Feedback zur Aufgabenstellung:

L: Hast du die Aufgabenstellung generell schwer oder leicht gefunden? #01:19:31-9#

S6: Also, die leicht, aber ganz am Anfang ist es mir schwer gefallen, weil ich nicht wusste, wie ich das umrechnen soll. #01:19:42-0#

L: Also der erste Teil war schwierig, ok. Dann wollt' ich dich fragen, ob du dich generell für die biologischen Dinge in der Physik auch interessierst oder eher weniger? #01:19:56-2#

S6: Ja, es interessiert mich schon. #01:20:03-7#

L: Also, hast du die Aufgabe interessant gefunden oder hättest du lieber etwas anderes gemacht? #01:20:13-3#

S6: War interessant. #01:20:18-4#

L: Würdest du an der Aufgabe irgendetwas ändern? Ist dir irgendetwas aufgefallen, wo du dir gedacht hast, irgendeine Frage, die du nicht gut verstanden hast, wo du nicht genau gewusst hast, was du tun musst? #01:20:29-1#

S6: Hier. #01:20:33-7#

L: Das mit dem proportional, was das heißt, ok und die Formel. Ok, das war für dich nicht ganz verständlich. War ein Wort dabei oder irgendwelche Wörter, die du nicht gut verstanden hast? #01:20:50-8#

S6: Nein, außer proportional. #01:21:17-7#

L: Gibt es sonst noch etwas, was du sagen würdest zur Aufgabenstellung? #01:21:26-8#

S6: Nein. #01:21:26-8#

L: Waren die Infomationstexte auch verständlich? #01:21:26-8#

S6: Ja. #01:21:25-0#

L: Wie hast du die Aufgabenstellung von schwierig bis leicht gefunden? #01:25:45-6#

S5: Also für mich war's verständlich, besonders, wenn wir noch mit diesen biologischen Zellen begonnen haben, denn ich hab' mich halt da eher ausgekannt mit diesen Membran usw. Das war ein neues Thema für mich auch in der Schule. Deswegen fand ich's bis dorthin eigentlich ziemlich ok. Ich fand's eigentlich bis Ende verständlich, also, es war kein Problem für mich. [...] Ich kann nicht jetzt sagen, dass es extrem leicht ist, aber es war verständlich, so, dass man weitermachen kann. #01:26:16-9#

L: Super. Interessierst du dich auch für die biologischen Aspekte von der Physik oder eher mehr für das technische zum Beispiel? #01:26:28-9#

S5: Eher für das biologische. #01:26:27-6#

L: Ok. Findest du die Aufgabenstellung interessant oder eher uninteressant? #01:26:34-4#

S5: Interessant. Es hat mir ziemlich Spaß gemacht. #01:26:37-9#

L: Freut mich. Und würdest du so etwas Ähnliches wieder machen oder eher weniger? #01:26:42-4#

S5: Ich würd's gerne wieder machen. #01:26:44-2#

L: Würdest du irgendetwas ändern? War irgendetwas, was du von der Fragestellung nicht verstanden hast oder was nicht gut erklärt war? #01:26:56-2#

S5: Nein, eigentlich nicht. Alles war verständlich. #01:26:58-4#

L: Auch die Fachbegriffe verständlich? #01:26:58-9#

S5: Ja. #01:27:02-2#

Anhang 11: Überarbeitete Aufgabenstellung „Elektronik der Nervenzelle“

Die Elektronik der Nervenzelle

I Ruhezustand der Nervenzelle (1): Unsere Zellen sind mit einer wässrigen Lösung gefüllt, die geladene Teilchen (=Ionen) enthält. Einzelne Zellen sind durch **Membranen** (Lipid-Doppelschicht) voneinander abgegrenzt. Die Ionen (Natrium, Chlor, Kalium und Proteine) können die Membran nicht durchqueren, außer durch Kanäle, die nur bestimmte Ionen zu bestimmten Zeiten durchlassen (vgl. Abb.1 **K⁺-Kanal** und **Na⁺-Kanal**). Die Membranen von Nervenzellen besitzen außerdem eine **Natrium-Kalium-Pumpe**, die unter Einsatz des Moleküls Adenosintriphosphat (ATP) immer jeweils zwei Kalium-Ionen (K⁺-Ionen) von außen in die Zelle transportiert und gleichzeitig drei Natrium-Ionen (Na⁺-Ionen) von innen nach außen befördert. Der Kalium-Kanal ist im Ruhezustand geöffnet, weswegen die Kalium-Ionen wieder aus der Zelle herauswandern können, der Natrium-Kanal ist allerdings verschlossen (vgl. roter Querbalken in der Abb.1).

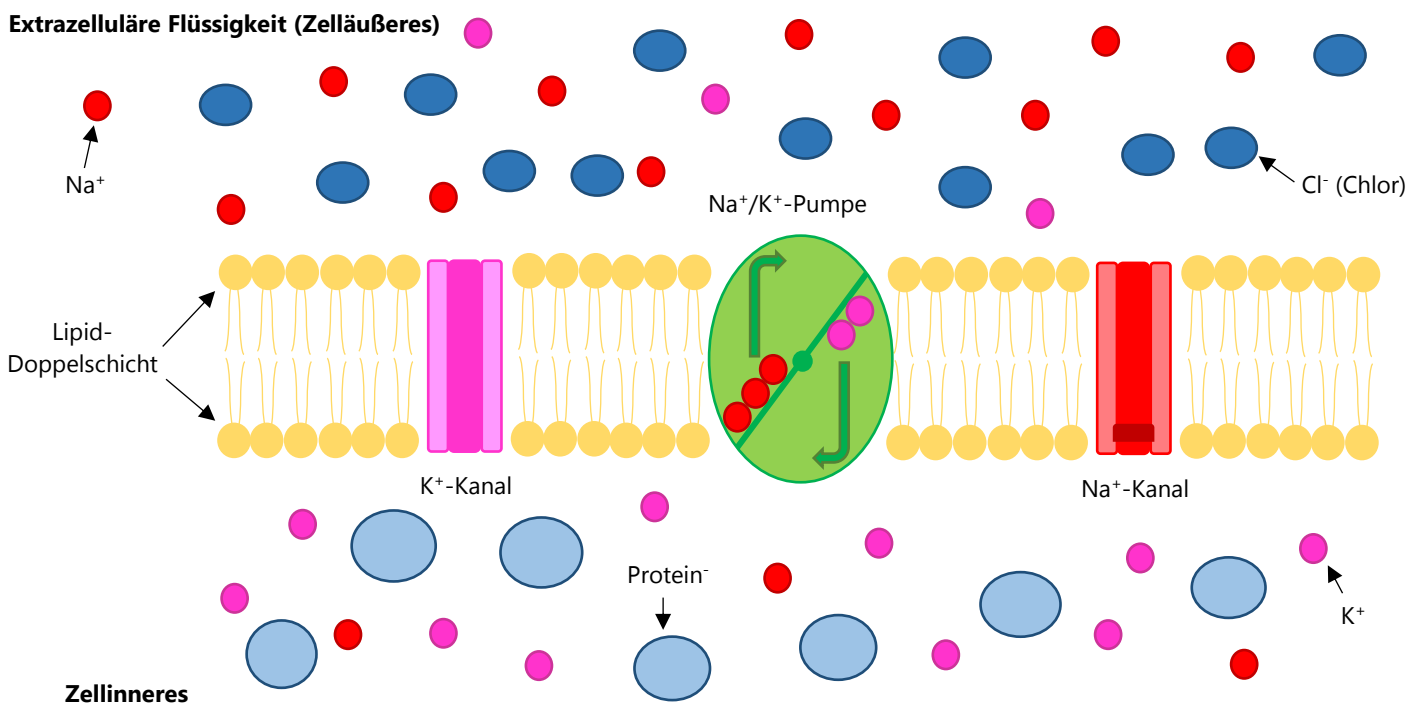


Abb. 1: Ruhezustand der Nervenzelle

- 1) Lies den Text zum „Ruhezustand der Zelle (1)“ und betrachte die Abb.1. Benenne die verschiedenen Ionen, die im Zellinneren und –äußeren auftreten und welche Ladung sie besitzen.
- 2))Beschreibe, welche Ionen wandern können und auf welche Weise!

I Ruhezustand der Nervenzelle (2):

Elektrische Potentialdifferenz: Gleichnamige Ladungen (z.B.: positiv und positiv) stoßen einander ab und ungleichnamige Ladungen (negativ und positiv) ziehen einander an. Da Ionen geladen sind, streben sie an, eine möglichst gleichmäßige Ladungsverteilung zwischen dem Zellinneren und dem Zelläußeren herzustellen. Wenn die Ladungsträger zwischen Innen- und Außenraum nicht gleichmäßig verteilt sind, dann gibt es eine Potentialdifferenz zwischen dem Zellinneren und dem Zelläußeren. Das ist gleichbedeutend mit einer elektrischen Spannung. Damit sich Ladungen bewegen, muss es eine Potentialdifferenz geben und diese ist umso größer, je mehr die Ladungsverteilung von einer gleichmäßigen Verteilung der positiven und negativen Ladungen abweicht.

Chemische Potentialdifferenz: Unabhängig von ihrer Ladung streben die verschiedenen Ionen außerdem an, sich gleichmäßig zwischen Innen- und Außenraum zu verteilen.

- 3) Lies den Text zum „Ruhezustand der Zelle (2)“ und stelle grafisch eine Möglichkeit dar, wie eine minimale elektrische Potentialdifferenz der Ionen zwischen Innen- und Außenraum der Zelle aussehen könnte!

- 4) Stelle grafisch eine Möglichkeit dar, wie eine minimale chemische Potentialdifferenz der Ionen zwischen Innen- und Außenraum der Zelle aussehen könnte!

- 5) Argumentiere, was dafür und was dagegen spricht, dass die K^+ -Ionen den Kalium-Kanal nutzen, um zurück in den Außenraum der Zelle zu wandern! Berücksichtige dabei, dass die Ladungen wandern, um eine minimale elektrische und chemische Potentialdifferenz herzustellen!

- 6) Wenn sich chemische und elektrische Potentialdifferenz im Gleichgewicht befinden, entsteht zwischen Innen- und Außenraum der Zelle eine Potentialdifferenz von -70 mV . Beschreibe in Worten, was diese Potentialdifferenz von -70 mV über die Ladungsverteilung aussagt!

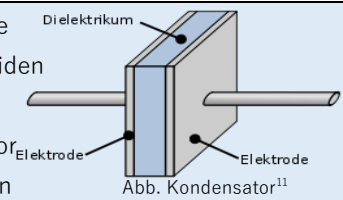
II Zelle empfängt Reiz:

- 1) Wenn die Nervenzelle ein Signal (z.B.: Sehzelle empfängt Lichtstrahl) erhält, das den Schwellenwert (-40 mV) überschreitet, öffnen sich die zuvor verschlossenen spannungsabhängigen Natrium-Kanäle. Argumentiere, wie sich die Na^+ -Ionen aufgrund der chemischen bzw. elektrischen Potentialdifferenz bewegen werden!

- 2) Stelle eine Vermutung an, wie sich der numerische Wert der Potentialdifferenz zwischen Innen- und Außenraum verändern wird, wenn die Zelle einen Reiz empfängt!

III Experiment:

Der Kondensator: Ein Kondensator besteht aus zwei Platten (Elektroden), die durch eine isolierende Schicht (Dielektrikum) getrennt sind. Zwischen den beiden Platten gibt es zu Beginn keine Potentialdifferenz, weil die Platten ungeladen sind. Schließt man eine Gleichspannungsquelle an den Kondensator an, so erhält der Leiter, der mit dem Minuspol der Spannungsquelle verbunden ist, einen Überschuss an negativen Ladungsträgern. Es entsteht somit eine Potentialdifferenz zwischen den beiden Leitern. Der Kondensator lädt sich auf. Die Potentialdifferenz bleibt auch erhalten, wenn die Spannungsquelle wieder entfernt wird. Der Kondensator speichert daher elektrischer Ladung. Ein geladener Kondensator dient in einem geschlossenen Stromkreis als Spannungsquelle und entlädt sich, bis die Potentialdifferenz zwischen den beiden Leitern wieder Null beträgt. Das Schaltsymbol des Kondensators sind zwei parallele Linien: –||



- 1) Lies den Infotext „Der Kondensator“ und ordne die folgenden Bestandteile der Nervenzelle elektronischen Bauteilen zu (Mehrfachzuordnungen sind durch Zahlen gekennzeichnet):

Zellmembran(2)	Spannungsquelle(2)
Natrium-Kalium-Pumpe	Kondensator
Kaliumkanäle	Widerstand

- 2) Stelle das Erreichen des Ruhezustands und den aktiven Zustand der Zelle jeweils mithilfe eines Schaltplanes dar! *Hinweis: Auch wenn die Spannung und der Widerstand der Nervenzelle durch verschiedene Komponenten realisiert werden, kann sich im Experiment auf eine Spannungsquelle bzw. einen Widerstand beschränkt werden.*

Führe nun das Experiment durch:

- 3) Baue die elektronische Schaltung, die das Erreichen des Ruhezustands darstellt, gemäß deines Schaltplanes auf. Du erhältst einen Kondensator (1000 μ F) und einen Widerstand (Glühlampe 12 V/0,1 A). Lege 10 V Gleichspannung an. Beschreibe, was beim Erreichen des Ruhezustands passiert!
- 4) Verändere nach kurzer Zeit deinen Schaltkreis, sodass er der Zelle im aktiven Zustand entspricht. Beschreibe, was im aktiven Zustand passiert!

¹¹ Quelle: Wikipedia: [https://de.wikipedia.org/wiki/Kondensator_\(Elektrotechnik\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Kondensator_(Elektrotechnik)) Online-Zugriff am 12.6.2020.

- 5) a) Erkläre, wie sich die Prozesse in der Nervenzelle verändern würden, wenn ein Kondensator (Zellmembran) mit einer großen bzw. kleinen Kapazität eingesetzt wird!

b) Erkläre, wie sich die Prozesse in der Nervenzelle verändern würden, wenn ein großer bzw. kleiner Widerstand (Zellmembran) eingesetzt wird!

Die Kapazität C: Die Kapazität C gibt an, wie viel Ladung ein Kondensator bei vorgegebener Spannung speichern kann. Die Einheit der Kapazität ist Farad (F). Die Kapazität C von Biomembranen kann mit der folgenden Formel berechnet werden: $C = \frac{\epsilon_{rel} \cdot \epsilon_0 \cdot A}{d}$. Dabei ist ϵ_{rel} die Dielektrizitätszahl von Biomembranen, ϵ_0 die elektrische Feldkonstante mit rund $8,9 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm}$, A der Flächeninhalt und d der Abstand zwischen den beiden Platten.

- 6) Lies den Infotext „Die Kapazität“ und berechne die Kapazität der gegebenen Zellmembran! Die Membran einer Nervenzelle im Rückenmark besitzt eine Länge l von ca. 1 m. Die Membran selbst ist wie ein Hohlzylinder mit einem Radius r von 10^{-5} m aufgebaut. Die Dicke d (=Plattenabstand der Membran) beträgt $5 \cdot 10^{-9}$ m. Die Dielektrizitätszahl für Biomembranen ϵ_{rel} beträgt 3.

- 7) a) Wie groß ist der Betrag der elektrischen Feldstärke der Membran, wenn die Spannung $U=0,1$ V beträgt und sich das elektrische Feld mit der Formel $E = \frac{U}{d}$ berechnen lässt?
Hinweis: Die Elektrische Feldstärke beschreibt, wie stark das Feld ist, d.h., wie groß die Kraft auf einen Ladungsträger im elektrischen Feld ist.

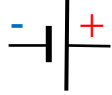
b) Wie verhält sich dein Ergebnis zur elektrischen Feldstärke, die bei einem Gewitter für einen Blitz erforderlich ist ($3.000.000$ V/m)? Stufe die elektrische Feldstärke der Membran zwischen sehr klein und sehr groß ein!

- 8) Denkaufgabe: Pfeilgiftfrösche scheiden über ihre Hautdrüsen hochgiftige Batrachotoxine aus. Für den Menschen sind schon wenige Milligramm des Gifts tödlich, da es die Membranspannung abbaut, mit denen die Herz- und Atemmuskulatur gesteuert wird. Ziehe mithilfe deiner gewonnen Informationen Schlüsse, wie der Wirkmechanismus des Gifts funktioniert!

Anhang 12: Hilfskärtchen „Elektronik der Nervenzelle“

Die Spannungsquelle

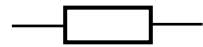
Eine Spannungsquelle liefert zwischen ihren beiden Anschlüssen eine elektrische Spannung (=Potentialdifferenz). Eine Gleichspannungsquelle (z.B.: Batterie) besitzt einen Pluspol und einen Minuspol, wobei sich am Minuspol mehr Elektronen befinden als am Pluspol.



Wenn beide Pole mit einem elektrischen Leiter (z.B.: Kupferdraht) verbunden werden, bewegen sich die Elektronen vom Minuspol in Richtung Pluspol und ein elektrischer Strom fließt.

Der elektrische Widerstand

Der elektrische Widerstand gibt an, wie stark der elektrische Strom am Fließen durch einen elektrischen Leiter gehindert wird. Die Bewegung der Elektronen durch den elektrischen Leiter wird durch die Atome des Leiters behindert.



Anhang 13: Überarbeitete Aufgabenstellung „Aus einer Maus einen Elefanten machen“

AUFGABENSTELLUNG: „Aus einer Maus einen Elefanten machen“



Teil I: Grundumsätze verschiedener Tiere:

Infotext Grundumsatz: Der Grundumsatz ist diejenige Wärmemenge (in Kilojoule), die von einem Körper in völlig nüchternem Zustand bei absoluter Ruhe innerhalb von 24 Stunden benötigt wird. Für einen 70 kg schweren Menschen beträgt er ca. 7000 kJ.

- 1) Der Grundumsatz der Maus ist pro Gramm Körpergewicht 65-mal höher als der des Menschen und der Grundumsatz der Maus ist außerdem 200-mal höher als der des Elefanten. Berechne sowohl den Grundumsatz der Maus als auch den des Elefanten! Hinweis: $m_{\text{Maus}}=21 \text{ g}$ und $m_{\text{Elefant}}=4 \text{ t}$

- 2) Elefanten ernähren sich hauptsächlich von Gräsern. 1 kg Gras enthält eine Energiemenge von 6 MJ. Berechne, wie viele kg Gras ein Elefant fressen müsste, um seinen Grundumsatz zu decken? (Wir nehmen an, dass der Elefant die Energiemenge, die das Gras bereitstellt, vollständig verwerten kann.)

- 3) Berechne, wie viele kg Nahrung der Elefant zu sich nehmen müsste, wenn sein Grundumsatz pro Gramm Körpergewicht so hoch wäre wie der der Maus?

Teil II: Stoffwechselintensitäten verschiedener Tiere:

Infotext Stoffwechselintensität: Säugetiere haben das ganze Jahr über eine annähernd konstante Körpertemperatur von ca. 37 ° C. Sowohl die Maus als das kleinste an Land lebende Säugetier als auch der Elefant als das größte an Land lebende Säugetier schaffen es also, diese Körpertemperatur aufrecht zu erhalten. Dafür wird Energie benötigt, die im Wesentlichen über die Nahrung aufgenommen wird. Die Stoffwechselintensität P eines Tieres gibt an, wie viel Energie pro Zeiteinheit in Form von Nahrung aufgenommen wird. Durch Vergleich verschiedener Tiere hat sich ergeben, dass die Stoffwechselintensität P proportional zu $m^{3/4}$ ist ($P \sim m^{3/4}$).

- 4) Die Maus ist mit einer Masse von $m_{\text{Maus}}=21 \text{ g}$ das kleinste lebende Säugetier. Sie besitzt eine Stoffwechselintensität von $P_{\text{Maus}}=0,17 \text{ W}$. Schätze die Stoffwechselintensität eines Elefanten P_{Elefant} mit $m_{\text{Elefant}}=4 \text{ t}$ mithilfe des gegebenen Proportionalitätsverhältnisses ab!
- 5) Verwende die unten stehende Tabelle 1, um zu überprüfen, wie genau sich die Stoffwechselintensität des Menschen P_{Mensch} mit dem obigen Verhältnis $P \sim m^{3/4}$ abschätzen lässt! Benenne die Größenordnung der Abweichung!

Tier	Masse in m[kg]	Stoffwechsel- intensität in [w]
Maus	0,021	0,17
Frosch (bei 25°C)	0,035	0,018
Ratte	0,282	1,36
Meerschweinchen	0,410	1,70
Katze	3,00	7,38
Kaninchen	4,33	9,22
Hund	6,60	13,93
Schimpanse	38,00	52,82
Schaf	46,40	60,78
Mensch	70,00	80,00
Kuh	600,00	384,00

Tabelle 1: Stoffwechselintensitäten einiger Tiere¹²

- 6) Ziehe aus deinen bisherigen Ergebnissen Schlüsse, wie sich auf Basis der bisherigen Aufgaben die Stoffwechselintensität bzw. der Grundumsatz bei kleinen Tieren (wie der Maus) von denen bei großen Tieren (wie dem Elefanten) unterscheiden?

¹² Kleiber 1967, S. 175.

Teil III: Das Verhältnis zwischen Körperoberfläche und Volumen verschiedener Tiere:

- 7) Der Durchmesser des Körpers einer 21 g schweren Maus beträgt ca. 3,4 cm.¹³ Berechne näherungsweise die Körperoberfläche und das Volumen der Maus, wenn der Körper der Maus als rund angenommen wird!
- 8) Begründe nun: Wenn der Durchmesser eines Elefanten 3,4 m betragen würde, um das Wievielfache würde sich die Oberfläche bzw. das Volumen des Elefanten vergrößern?
- 9) Denkaufgabe: „Aus statischen Gründen benötigen große Tiere ein wesentlich stabileres Skelett als kleine Tiere.“¹⁴ Bei der Maus macht das Skelett 5 % ihrer Masse aus beim Elefanten 30% seiner Masse. Erläutere, wie diese Informationen mit dem geringeren Grundumsatz bzw. der geringeren Stoffwechselintensität des Elefanten zusammenhängen könnten?

¹³<https://www.humane-endpoints.info/de/maus/physiologische-parameter> (Online-Zugriff am 22.6.2020).

¹⁴https://books.google.at/books?id=MoQkBgAAQBAJ&pg=PA67&lpg=PA67&dq=knochenbau+maus+elefant&source=bl&ots=ooEHq1BW4z&sig=ACfU3U1T1RIRk6PmCMPkkTAR7_6t0Mwkbw&hl=de&sa=X&ved=2ahUKewi_7seq2_rhAhWQ_CoKHSowCpgQ6AEwEHoECaCQAQ#v=onepage&q=knochenbau%20maus%20elefant&f=false (Online-Zugriff am 22.6.2020).

Anhang 14: Hilfskärtchen „Aus einer Maus einen Elefanten machen“

Proportionalität

Proportionalität bedeutet, dass zwei Größen immer im gleichen Verhältnis zueinander stehen. Wenn zwei Größen zueinander proportional sind, heißt das, dass sich die zweite Größe verdoppelt, wenn die erste Größe verdoppelt wird. Wenn man die erste Größe halbiert, dann halbiert sich auch die zweite Größe, usw. Die beiden Größen unterscheiden sich nur durch einen bestimmten Faktor, den sogenannten Proportionalitätsfaktor.

Beispiel: 1 kg Äpfel kosten 0,50 €
10 kg Äpfel kosten 5 €.

Die Menge an Äpfeln (in kg) und der Preis der Äpfel (in €) sind zueinander proportional, sie verändern sich im gleichen Verhältnis. Der Proportionalitätsfaktor ist der Preis/kg Äpfel. Der Gesamtpreis wird immer errechnet, indem man die Menge an Äpfeln (in kg) mit dem Proportionalitätsfaktor multipliziert.

$$\text{Gesamtpreis (in €)} = \text{Menge (in kg)} \cdot \frac{\text{Preis}}{\text{kg}} \text{ (in €)}$$

Größenordnungen

In der Physik bezeichnet eine Größenordnung eine Potenz der Basis 10. Man nennt diese auch Zehnerpotenzen.

Bsp.: $10^0=1$ Diese Größenordnung wäre der Einerbereich.
 $10^1=10$ Diese Größenordnung wäre der Zehnerbereich.
 $10^2=100$ Diese Größenordnung wäre der Hunderterbereich.
usw.

Formeln zur Kugel

Oberfläche einer Kugel: $O = 4 \cdot \pi r^2$

Volumen einer Kugel: $V = \frac{4 \cdot \pi \cdot r^3}{3}$