

Bedeutung von Virtuellen Experimenten in der Unterrichtspraxis

-

**Vergleich von Lernerfolg, Lernzuwachs und Motivation bei dem
neurophysiologischen Experiment „Aktionspotenziale beim Regenwurm“
in virtueller und praktischer Durchführung**

Inaugural-Dissertation

zur

**Erlangung des Doktorgrades
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Universität zu Köln**



vorgelegt von

Franziska Bauer

aus Bonn

Köln, August 2016

Berichterstatter/in:

Prof. Dr. Kirsten Schlüter

PD Dr. Joachim Schmidt

Tag der mündlichen Prüfung: 31.10.2016

Zusammenfassung

In dieser Forschungsarbeit wird der Einfluss der Unterrichtsgestaltung in Form eines Realexperiments und einer Computersimulation (Virtuelles Experiment) auf den Lernerfolg sowie Lernzuwachs und die Motivation untersucht sowie ob Abhängigkeiten zwischen Lernerfolg bzw. Lernzuwachs und Motivation festgestellt werden können. Die Untersuchung wurde mit Schülerinnen und Schülern der Qualifikationsstufe II eines Gymnasiums in Bonn in Deutschland durchgeführt. Insgesamt gab es zwei Experimentiergruppen (Real- und Virtuelles Experiment) und eine Kontrollgruppe. In jeder Versuchsgruppe nahmen mindestens 50 Oberstufen-SuS teil.

Jede Gruppe erarbeitete sich inhaltlich die gleiche Thematik (Experiment „Aktionspotenziale beim Regenwurm“, Heinzel, 1990) in unterschiedlicher Durchführung: Realexperiment, Virtuelles Experiment und mittels Arbeitsblätter.

Dabei wurde der Lernzuwachs mittels eines Pre- / Posttest-Design gemessen. Der Lernerfolg entsprach dem Ergebnis des Posttest. Es zeigte sich, dass die SuS der Versuchsgruppen Realexperiment und Virtuelles Experiment signifikant bessere Ergebnisse sowohl beim Lernerfolg als auch beim Lernzuwachs erzielten als die SuS der Kontrollgruppe. Die beiden Experimentgruppen hingegen zeigten keine signifikanten Unterschiede.

Bezüglich der Untersuchungen der Motivation, die mittels eines Fragebogens ermittelt wurde, zeigten sich entsprechende Ergebnisse: Die SuS der Experimentgruppen empfanden die Unterrichtseinheit signifikant motivierender als die SuS der Kontrollgruppe. Auch hier waren die Ergebnisse zwischen den beiden Gruppen Realexperiment und Virtuelles Experiment gleich.

Es zeigte sich eine positive mittlere Korrelation zwischen Lernerfolg bzw. Lernzuwachs und Motivation. Des Weiteren konnte man einen positiven Zusammenhang zwischen Vorwissen und Lernerfolg feststellen. Im Gegensatz dazu war der Zusammenhang zwischen Vorwissen und Lernzuwachs für diese Unterrichtseinheit sehr groß und negativ.

Schlüsselwörter:

Realexperiment, Virtuelles Experiment, Computersimulation, Lernen, Lernerfolg, Lernzuwachs, Motivation, Aktionspotenzial, Regenwurm

Abstract

This research investigates the influence of a real experiment on the one hand and a computer simulation (virtual experiment) on the other hand for learning or learning gain of action potentials and motivation. Additionally it investigates the correlations between learning or learning gain and motivation.

The investigated sample consists of students (12th grade) of a secondary school in Bonn, Germany. There were two experimental groups (real and virtual) and one control group. In each group were 50 or more students. In one of the experimental groups, called real experiment group, the instruction was realized by means of real experiments. In the other experimental group, called virtual experiment group, the instruction was realized by means of computer simulations. The students of the control group had to do the same experimental content in the form of worksheets. The experiment dealt with investigations about action potentials in earthworms (Heinzel, 1990).

The difference between pre-test results and post-test results reveal that the approaches used in experimental groups give more quality knowledge than the one in the control group. The results in the real experiment group and virtual experiment group were equal.

In addition the students of the real experiment group and virtual experiment group were significantly more motivated than the control group. There were also no differences between the experimental groups.

All in all we could see a positive middle correlation between learning or learning gain and motivation. Furthermore there was a positive dependence between foreknowledge and learning but a great negative dependence between foreknowledge and learning gain.

Keywords:

real experiments, virtual experiments, computer simulation, learning, learning gain, motivation, action potential, earthworm.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	III
Abstract	IV
Abbildungsverzeichnis	X
Tabellenverzeichnis	XI

1	Einleitung	1
----------	-------------------	----------

I. THEORETISCHER HINTERGRUND

2	Lernmotivation	4
2.1	Intrinsische und extrinsische Motivation	5
2.2	Leistungsmotivation	6
2.3	Interesse	7
2.3.1	Interessensgenese	9
2.3.2	Nicht-Interesse	10
2.4	Vorraussetzung für Lernmotivation	10
2.5	Lernmotivation in der Schule	11
3	Lernen	13
3.1	Konstruktivistisch orientierte Lerntheorien	13
3.1.1	Konstruktivistisches Lernen	13
3.1.2	Problemorientiertes Lernen	14
3.2	Forschendes Lernen	14
3.3	Lernen mit Computersimulationen	16
3.3.1	Vorteile des Lernens mit Computersimulationen	16
3.3.2	Nachteile von Computersimulationen im Unterricht	18

4	Außerschulische Lernorte	19
4.1	Außerschulische naturwissenschaftliche Lernorte	19
4.2	Schülerlabore	19

II. FORSCHUNGSANSATZ

5	Fragestellungen	21
----------	------------------------	-----------

III. MATERIAL UND METHODEN

6	Unterrichtseinheit „Aktionspotenziale beim Regenwurm“	28
6.1	Fachwissenschaftlicher Hintergrund zum Experiment „Aktionspotenziale beim Regenwurm“	28
6.2	Vorbereitung und Aufbau des Realexperiments „Aktionspotenziale beim Regenwurm“	31
6.3	Erarbeitungsphase der Unterrichtseinheit „Aktionspotenziale beim Regenwurm“	34
6.3.1	Die Teilversuche in den beiden Experimentversionen (real und virtuell)	34
6.3.2	Unterschiede der Teilversuche im Virtuellen Experiment zum Realexperiment	36
6.4	Skript	36
6.5	Aufgabenprotokoll	37
6.6	Unterrichtseinheit „Aktionspotenziale beim Regenwurm“ mit Arbeitsblättern	38
7	Fachdidaktische Grundlagen	39
7.1	Gestaltung der verschiedenen Unterrichtsformen unter fachdidaktischen Gesichtspunkten	39
7.1.1	Gestaltung der Unterrichtseinheit als Realexperiment bzw. als Virtuelles Experiment unter fachdidaktischen Gesichtspunkten	39

7.1.2	Gestaltung der Unterrichtseinheit mittels Arbeitsblättern unter fachdidaktischen Gesichtspunkten	41
7.2	Lernziele der Unterrichtseinheit „Aktionspotenziale beim Regenwurm“	42
7.3	Legitimation durch den Lehrplan	42
7.4	Einbettung in die Unterrichtsreihe	43
8	Untersuchungsmethode	45
8.1	Ablauf und Konzept der Studie zur Unterrichtseinheit „Aktionspotenziale beim Regenwurm“	45
8.2	Stichprobe	47
8.3	Auswahl der Forschungsmethoden	47
8.3.1	Personendaten	48
8.3.2	Fragebögen zur Ermittlung des Lernerfolgs und des Lernzuwachses	48
8.3.2.1	Pretest	49
8.3.2.2	Posttest	50
8.3.3	Motivationsfragebogen	51
9	Skalendokumentation der Fragebögen	52
9.1	Gütekriterien	52
9.2	Itemanalyse	53
9.2.1	Itemschwierigkeit	54
9.2.2	Trennschärfe	54
9.3	Skalen- und Itemanalyse des Pre- / Posttests	55
9.3.1	Rasch-Analyse des Pre- / Posttests	55
9.3.2	Itemschwierigkeit des Pre- / Posttests	56
9.3.3	Reliabilität des Pre- / Posttests	58
9.4	Skalen- und Itemanalyse des Motivationsfragebogens	58
10	Darstellung und statistische Auswertung	63
10.1	Ermittlung des Testverfahrens für den Pretest	64
10.2	Ermittlung des Testverfahrens für den Posttest	67
10.3	Ermittlung des Testverfahrens für den Lernzuwachs	69

10.4	Ermittlung des Testverfahrens für die Motivation	71
10.5	Auswertungsverfahren für die Korrelationen	71
10.6	Auswertungsverfahren für die Regressionsanalysen	71
10.6.1	Überprüfung der Modellprämissen für die Regressionsanalyse Pre- / Posttest	72
10.6.2	Überprüfung der Modellprämissen für die Regressionsanalyse Pretest / Lernzuwachs	73

IV. ERGEBNISSE

11	Darstellung der Ergebnisse	76
11.1	Ergebnis des Pretests	76
11.2	Ergebnis des Posttests	78
11.3	Ergebnis des Lernzuwachses	80
11.4	Ergebnisse zur Motivation	82
11.5	Korrelationen zu Motivation und Lernen	94
11.5.1	Korrelation von Interesse und Lernerfolg	95
11.5.2	Korrelation von Interesse und Lernzuwachs	96
11.5.3	Korrelation von Nichtinteresse und Lernerfolg	96
11.5.4	Korrelation von Nichtinteresse und Lernzuwachs	97
11.5.5	Korrelation von selbstbestimmter Motivation und Lernerfolg	98
11.5.6	Korrelation von selbstbestimmter Motivation und Lernzuwachs	99
11.6	Korrelation von Pre- und Posttest	100
11.7	Regressionsanalyse Pretest / Lernzuwachs	101
12	Zusammenfassung der Ergebnisse	103
12.1	Zusammenfassung der Ergebnisse der Wissenstests	103
12.2	Zusammenfassung der Ergebnisse zur Motivation	104
12.3	Zusammenfassung der Ergebnisse der Korrelationen zu Lernen und Motivation	106
12.4	Zusammenfassung der Ergebnisse der Korrelations- bzw. Regressionsanalyse von Vorwissen zu Lernerfolg bzw. Lernzuwachs	106

V. AUSWERTUNG UND AUSBLICK

13	Diskussion	108
13.1	Diskussion der Ergebnisse unter Berücksichtigung der Untersuchungsfragen	108
13.2	Methodische und inhaltliche Grenzen dieser Forschungsstudie	117
13.3	Theoretische und praktische Relevanz der Ergebnisse	120
13.4	Resümee und Ausblick auf Folgeuntersuchungen und weiterführende Forschungsfragen	121
14	Literaturverzeichnis	123
14.1	Zeitschriften	123
14.2	Monografien	127
14.3	Herausgeberwerke und Sammelbände	130
14.4	Unveröffentlichte Werke	133
14.5	Elektronische Werke	134
	Anhang	136
	Danksagung	204
	Selbstständigkeitserklärung	205
	Lebenslauf	206

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 6.2.1	PowerLab26T	32
Abbildung 6.2.2	Aufbau des Experiments „Aktionspotenziale beim Regenwurm“	32
Abbildung 9.3.2.1	Itemschwierigkeit des Pre- / Posttests	57
Abbildung 10.1.1	Häufigkeitsverteilung der Ergebnisse des Pretests	66
Abbildung 10.2.1	Häufigkeitsverteilung der Ergebnisse des Posttests	68
Abbildung 10.3.1	Häufigkeitsverteilung der Ergebnisse des Lernzuwachses	70
Abbildung 10.6.1.1	Streudiagramm der korrelierten Daten von Pre- und Posttest	72
Abbildung 10.6.2.1	Streudiagramm der korrelierten Daten von Pretest und Lernzuwachs	73
Abbildung 10.6.2.2	Häufigkeitsverteilung der standardisierten Residuen der Regressionsanalyse Pretest / Lernzuwachs	74
Abbildung 10.6.2.3	Streudiagramm der standardisierten Residuen zu den geschätzten Werten der Regressionsanalyse Pretest / Lernzuwachs	74
Abbildung 11.1.1	Ergebnis des Pretests bei den drei Versuchsgruppen	77
Abbildung 11.2.1	Ergebnis des Posttests bei den drei Versuchsgruppen	79
Abbildung 11.3.1	Ergebnis des Lernzuwachses bei den drei Versuchsgruppen	82
Abbildung 11.4.1	Häufigkeitsverteilung der Ergebnisse des Interesses	84
Abbildung 11.4.2	Ergebnis Interesse bei den drei Versuchsgruppen	86
Abbildung 11.4.3	Häufigkeitsverteilung der Ergebnisse des Nichtinteresses	88
Abbildung 11.4.4	Ergebnis Nichtinteresse bei den drei Versuchsgruppen	90
Abbildung 11.4.5	Häufigkeitsverteilung der Ergebnisse der selbstbestimmten Motivation	92
Abbildung 11.4.6	Ergebnis selbstbestimmte Motivation bei den drei Versuchsgruppen	94

Abbildung 11.5.1.1	Korrelation von Interesse und Posttest	95
Abbildung 11.5.2.1	Korrelation von Interesse und Lernzuwachs	96
Abbildung 11.5.3.1	Korrelation von Nichtinteresse und Posttest	97
Abbildung 11.5.4.1	Korrelation von Nichtinteresse und Lernzuwachs	98
Abbildung 11.5.5.1	Korrelation von selbstbestimmter Motivation und Posttest	99
Abbildung 11.5.6.1	Korrelation von selbstbestimmter Motivation und Lernzuwachs	100

Tabellenverzeichnis

Tabelle 8.1.1	Ablauf der Unterrichtseinheit	46
Tabelle 9.3.1.1	Measure-Skala der Pre- und Posttestfragen mit MNSQ OUTFIT	56
Tabelle 9.4.1	Skalendokumentation (Beispiel)	58
Tabelle 9.4.2	Skalendokumentation der Erhebung Interesse	59
Tabelle 9.4.3	Skalendokumentation der Erhebung Nichtinteresse	59
Tabelle 9.4.4	Skalendokumentation der Erhebung selbstbestimmten Motivation	60
Tabelle 9.4.5	Skalendokumentation der Erhebung fremdbestimmten Motivation	60
Tabelle 10.1	Signifikanzniveau (p)	63
Tabelle 10.2	Korrelationskoeffizient- und Effektstärken	63
Tabelle 10.3	Nummerierung und Farbzuzuweisung in den Diagrammen	64
Tabelle 10.1.1	Test auf Normalverteilung des Pretests	65
Tabelle 10.2.1	Test auf Normalverteilung des Posttests	67
Tabelle 10.3.1	Test auf Normalverteilung beim Lernzuwachs	69
Tabelle 10.6.2.1	Durbin-Watson-Test (Regressionsanalyse Pretest / Lernzuwachs)	75
Tabelle 11.1.1	Ränge des Kruskal-Wallis-Tests beim Pretest	77
Tabelle 11.1.2	Statistik des Kruskal-Wallis-Test beim Pretest	77

Tabelle 11.2.1	Ränge beim Kruskal-Wallis-Test beim Posttest	78
Tabelle 11.2.2	Statistik für Kruskal-Wallis-Test beim Posttest	78
Tabelle 11.2.3	Post-hoc-Test des Posttests	79
Tabelle 11.3.1	Ränge beim Kruskal-Wallis-Test beim Lernzuwachs	80
Tabelle 11.3.2	Statistik für Kruskal-Wallis-Test beim Lernzuwachs	81
Tabelle 11.3.3	Post-hoc-Test des Lernzuwachses	81
Tabelle 11.4.1	Ränge beim Kruskal-Wallis-Test beim Interesse	85
Tabelle 11.4.2	Statistik für Kruskal-Wallis-Test beim Interesse	85
Tabelle 11.4.3	Post-hoc-Test des Interesses	86
Tabelle 11.4.4	Ränge beim Kruskal-Wallis-Test beim Nichtinteresse	89
Tabelle 11.4.5	Statistik für Kruskal-Wallis-Test beim Nichtinteresse	89
Tabelle 11.4.6	Post-hoc-Test des Nichtinteresses	89
Tabelle 11.4.7	Ränge beim Kruskal-Wallis-Test bei der selbstbestimmten Motivation	93
Tabelle 11.4.8	Statistik für Kruskal-Wallis-Test bei der selbstbestimmten Motivation	93
Tabelle 11.4.9	Post-hoc-Test der selbstbestimmten Motivation	93
Tabelle 11.5.1.1	Korrelation von Interesse und Posttest	95
Tabelle 11.5.2.1	Korrelation von Interesse und Lernzuwachs	96
Tabelle 11.5.3.1	Korrelation von Nichtinteresse und Posttest	97
Tabelle 11.5.4.1	Korrelation von Nichtinteresse und Lernzuwachs	98
Tabelle 11.5.5.1	Korrelation von selbstbestimmter Motivation und Posttest	99
Tabelle 11.5.6.1	Korrelation von selbstbestimmter Motivation und Lernzuwachs	100
Tabelle 11.6.1	Korrelation von selbstbestimmter Motivation und Lernzuwachs	101
Tabelle 11.7.1	ANOVA der Regressionsanalyse Pretest / Lernzuwachs	101

Tabelle 11.7.2	Regressionskoeffizienten der Regressionsanalyse	
	Pretest / Lernzuwachs	102
Tabelle 11.7.3	Regressionsanalyse Pretest / Lernzuwachs	102

1 Einleitung

Als Gymnasiallehrerin fällt einem häufig auf, dass, wenn man die SuS zum Schuljahresanfang fragt, welche Erwartungen sie an den Biologieunterricht haben, sie ganz viele Experimente machen möchten. Diese Frage wird auch im Nebengespräch des Öfteren wiederholt: „Wann machen wir wieder Experimente?“. Dies gilt für sämtliche Jahrgangsstufen.

Experimente sind bei Schülerinnen und Schülern¹ beliebt, sie gelten als spannend und abwechslungsreich. Spannend, da die SuS nicht genau wissen, was passiert und wie sie vorgehen sollen. Abwechslungsreich, weil die SuS sich mehr bewegen und mit ihren Händen arbeiten dürfen, sie häufig in den Kleingruppen ihre Experimente planen und über Lösungswege diskutieren sollen.

Dennoch werden sie seltener in den Unterricht eingebaut, als die SuS und Lehrerinnen und Lehrer² möchten. In einer Untersuchung von Meyer (1987) wurde ein Zeitanteil von 13 % für Experimente im Schulunterricht ermittelt. Jetzt könnte man natürlich sagen, „LuL, dass sind alles faule Säcke“, aber das trifft es nicht. Zum einen gibt es viele Themen, die sich nicht für Experimente anbieten (z.B. nicht sichtbare Prozesse (z.B. Aktionspotenzialbildung, Regulation der Proteinbiosynthese, Gleitfilament von Myosin und Aktin), zeitlich zu lang andauernde Prozesse (z.B. Ökologische Wechselbeziehungen, evolutive Ereignisse) oder auch wenn die möglichen Experimente für die jeweilige Altersgruppe als zu komplex erscheinen (Meyer, 1987).

Aufgrund der organisatorischen Rahmenbedingungen ist es ebenfalls schwierig Experimente regelmäßig in den Unterricht einzubauen (z.B. begrenzte Unterrichtszeit, immense Stofffülle der Lehrpläne, Ausmaß der Arbeitsverpflichtungen der Lehrkräfte insgesamt und dadurch reduzierte Vorbereitungszeit, eingeschränkte Experimentierlaubnis aufgrund von Sicherheitsvorschriften (RISU-NRW, 2014) sowie eine schlechte Ausstattung an den Schulen). Als weitere Gründe werden von Meyer (1987) zudem große Klassen oder zu hoher Zeitaufwand durch die Experimente genannt.

So stellte sich die Frage, wie kann man es schaffen, vermehrt Experimente in den Unterricht einzubauen und dabei gleichzeitig die Lehrkräfte zu entlasten? Eine Abschaffung von Experimenten wäre für eine Naturwissenschaft nicht förderlich. Gerade an Gymnasien sollten hinsichtlich des wissenschaftspropädeutischen Unterrichts Experimente regelmäßiger in den Unterricht eingebaut werden.

¹ Im folgenden SuS abgekürzt

² Im folgenden LuL abgekürzt

Eine Möglichkeit Experimente und Entlastung zu kombinieren, könnten Computersimulationen in Form von Virtuellen Experimenten sein. Der Unterrichtsablauf benötigt eine deutlich geringere Vorbereitung und bietet somit eine organisatorische Entlastung.

Eine weitere Frage, die sich stellte, lautet: Lernt man mit Experimenten wirklich am meisten? Dass man mit Experimenten gute Lernergebnisse erzielt, ist erforscht (Scharfenberg, 2005). Auch steigern Experimente die Motivation (Erb, Stolz, 2011). Dass Motivation mit Lernen um 0,3 korreliert, ist ebenfalls in der Wissenschaft ein anerkannter Wert (Schiefele, 2003; Peklaj, 2015).

Doch wie sieht ein Vergleich aus mit einer modern gestalteten und fachdidaktisch ausgearbeiteten Computersimulation? Kann man mit einer Computersimulation einen vergleichbaren Lernerfolg erzielen wie mit einem Realexperiment? Hat die Art der Unterrichtsgestaltung einen Einfluss auf die Motivation?

Zu diesen Fragen gibt es bisher nur relativ wenige Untersuchungen. Viele Studien wurden zudem nur mit kleinen Stichproben durchgeführt. Außerdem entwickeln sich die technischen Möglichkeiten rasant. Dementsprechend können heute Virtuelle Experimente ganz anders gestaltet werden als vor zehn Jahren. Somit könnten auch die Ergebnisse hinsichtlich Verständnis und Motivation ganz anders ausfallen als früher.

Für diese Untersuchung wurde exemplarisch das Experiment „Aktionspotenziale beim Regenwurm“ (Heinzel, 1990) verwendet und didaktisch ausgearbeitet. Dabei entstanden drei verschiedene Versionen der Unterrichtsgestaltung, die inhaltlich identisch blieben. Die verschiedenen Versionen des Experiments waren einmal das Originalexperiment³ selber, ein Virtuelles Experiment in Form einer Computersimulation und eine Darstellung mittels Arbeitsblättern. Jede dieser Unterrichtsformen wurde von mindestens 50 Oberstufen-SuS der Qualifikationsstufe II durchgeführt.

Im Anschluss wurde getestet, wie motivierend die SuS die jeweilige Unterrichtseinheit empfanden und wie viel sie gelernt hatten.

Die vorliegende Forschungsarbeit führt im ersten Teil den benötigten theoretischen Hintergrund zu Motivation und Lernen auf. Im zweiten Teil wird der Forschungsansatz erläutert, indem die Fragestellungen und Hypothesen mitsamt Begründungen vorgestellt werden. Im nächsten Teil werden die verwendeten Materialien und Methoden erklärt. Hier wird zuerst auf den fachwissenschaftlichen Hintergrund sowie auf die Gestaltung der Unterrichtseinheit „Aktionspotenziale beim Regenwurm“ eingegangen. Anschließend

³ Im folgenden Realexperiment genannt

werden die fachdidaktischen Grundlagen expliziert. Im weiteren Verlauf wird die Untersuchungs- sowie die Erhebungs- und Auswertungsmethode dargestellt. Der dritte Teil endet mit der Skalendokumentation der Evaluationsinstrumente mit zugehöriger Itemanalyse. Im vierten Teil werden die Ergebnisse präsentiert und im fünften Teil unter Einbezug der Untersuchungsfragen diskutiert und mit der aktuellen Forschungsliteratur verglichen. Hier folgt anschließend auch eine Diskussion zur theoretischen und praktischen Relevanz der Ergebnisse dieser Studie.

I. THEORETISCHER HINTERGRUND

2 Lernmotivation

Lehrende Einrichtungen haben ein großes Interesse daran, lernmotivierte Lernende zu erhalten. Unterricht mit hoher Lernmotivation der Beteiligten ist konfliktärmer und im Ergebnis deutlich effizienter (Helmke, 2003). Doch was ist Lernmotivation überhaupt? Und wie kann man sie verstärken?

Motivation alleine wird definiert als Ursache für die Richtung, Ausdauer und Intensität des menschlichen Strebens (Urhahne, 2008). Der Begriff Lernmotivation versteht den motivationalen Prozess während des Lernens. Hierbei werden alle Prozesse zusammengefasst, die am „Zustandekommen und den Effekten des Lernens bzw. einer Lernhandlung beteiligt sind“ (Krapp, 1999). Lernmotivation bestimmt, auf welchen Sachverhalt die Lernenden sich konzentrieren und mit welcher Intensität sie sich mit der Thematik auseinandersetzen. Bei höherer Lernmotivation erfolgt eine hohe Auseinandersetzung mit den jeweiligen Inhalten. Zusammen mit emotionalen, kognitiven und sozialen Faktoren hat sie dementsprechend Auswirkungen auf die Größe des Lernerfolgs (Schiefele, 2015).

Insgesamt beeinflussen mehrere Faktoren die Lernmotivation. Vorherige Erfahrungen, Entwicklungsbedingungen sowie das soziale Umfeld formen Einstellungen und Interessen, die sich auf jeden Lernprozess auswirken. Zusammen ergibt sich daraus die Lernmotivation, die das Lernverhalten mit beeinflusst (Schiefele, 2008). In derselben Arbeit unterscheidet Schiefele (2008) zwischen aktueller und habitueller Lernmotivation. Während eine aktuelle Lernmotivation sich auf einen konkreten situationsspezifischen Zustand einer Person bezieht, wird mit der habituelleren Lernmotivation das gewohnheitsmäßige Auftreten verstanden (Schiefele, 2008).

In der pädagogisch-psychologischen Motivationsforschung bewirken vier Faktoren die Lernmotivation: die intrinsische und die extrinsische Motivation (s. Kap. 2.1), die Leistungsmotivation (s. Kap. 2.2) und das Interesse (s. Kap. 2.3) (Krapp, 1992a). Ferner werden in diesem Kapitel die Voraussetzungen für Lernmotivation (s. Kap. 2.4) und die besonderen Gegebenheiten für Lernmotivation an weiterführenden Schulen vorgestellt (s. Kap. 2.5).

2.1 Intrinsische und extrinsische Motivation

Ein Großteil der Forschungsliteratur unterteilt Motivation in intrinsische und extrinsische Motivation. In der Vergangenheit wurden diese Begriffe nicht einheitlich definiert, sodass derselbe Fachbegriff auf unterschiedliche Art und Weise verwendet wurde (Rheinberg, 2004). Für meine Forschungsarbeit habe ich diesbezüglich die Definitionen von der Selbstbestimmungstheorie von Deci & Ryan (1993; 2000) zugrunde gelegt.

Deci & Ryan (1993) verstehen unter intrinsischer Motivation sämtliche Tätigkeiten, die durch das eigene Selbst spontan verursacht werden (durch Interesse an der Sache oder aus Freude an der Tätigkeit), wohingegen die Handlungen, die extrinsisch motiviert sind, durch äußere Faktoren ausgelöst werden. Dazu zählen z.B. Verhaltensweisen, die durch Anweisungen, Belohnungen, Strafen oder aufgrund instrumenteller Funktion(en) ausgelöst werden. Daraus folgt, dass es Handlungen gibt, die man als selbstbestimmt und andere als kontrolliert wahrnimmt. Der Grad an wahrgenommener Selbstbestimmung kann differenzieren. Je selbstbestimmter oder autonomer man eine Handlung wahrnimmt, desto höher ist die „Qualität“ oder „Orientierung einer motivierten Handlung“ einzustufen (Deci & Ryan, 1993, S. 225).

Intrinsische Motivation und extrinsische Motivation müssen jedoch nicht als gegensätzlich oder singular verstanden werden. Häufig wirken mehrere motivationale Auslöser zusammen (Lepper & Henderlong, 2000) und auch eine extrinsisch motivierte Handlung kann mit der Zeit als selbstbestimmt wahrgenommen werden (Deci & Ryan, 1993).

Deci & Ryan (1993) unterscheiden deshalb vier Formen extrinsischer Motivation: (1) die externale, (2) die introjizierte, (3) die identifizierte und (4) die integrierte Regulation.

- (1) Für die externale Regulation werden der höchste Grad an gefühlter Kontrolle und der geringste Grad an wahrgenommener Autonomie beschrieben. Die Handlung wird ausgeführt, „um eine Belohnung zu erhalten oder einer Bestrafung zu entgehen“ (Deci & Ryan, 1993, S. 227).
- (2) Bei der introjizierten Regulation werden Verhaltensweisen durch innere Anreize bzw. durch interne Auflagen ausgelöst. Hierzu zählen Verhaltensweisen, deren einzige motivationale Ursache „das ist so üblich, das macht man so“ zu Grunde liegen, aber nicht mit dem individuellen Selbst übereinstimmen. Der Handlung ist

zwar von innen ausgelöst, wird aber nur zu einem geringen Grad als selbstbestimmt empfunden (Deci & Ryan, 1993, S. 227).

- (3) Die dritte Form der extrinsischen Motivation ist die identifizierte Regulation. Hierbei empfindet die handelnde Person ihr Tun als bedeutsam, sie identifiziert sich mit den Zielen und Werten ihrer Handlung (Deci & Ryan, 1993, S. 228). Die Handlung wird als selbstbestimmt wahrgenommen.
- (4) Den höchsten Grad an Autonomie gibt es für extrinsisch motivierte Verhaltensweisen bei der integrierten Regulation. Hierbei hat die handelnde Person Ziele, Werte und Handlungsstrategien vollständig ins eigene Selbstkonzept verinnerlicht (Deci & Ryan, 1993, S. 228).

2.2 Leistungsmotivation

Ein weiterer Baustein der Lernmotivation stellt die Leistungsmotivation dar. Lernende handeln leistungsmotiviert, wenn sie bestimmte Erwartungen an ihre Lernleistung aufstellen und dem Ergebnis ihrer Tätigkeit eine Bedeutung zuordnen (Erwartungs-Wert-Theorie, Atkinson, 1966). Das Ziel der Tätigkeit steht im Vordergrund und kann der extrinsischen Motivation zugeordnet werden.

Dementsprechend entsteht Leistungsmotivation aus dem Willen sein Ziel erfolgreich zu erreichen (erfolgszuversichtliche Motivkomponente) oder aus Angst scheitern zu können (misserfolgsängstliche Motivkomponente) (Mc Clelland et al., 1953). Beide Komponenten scheinen bei Lernenden unterschiedlich ausgeprägt zu sein, was sich sowohl auf die Bewertung von Erfolg und Misserfolg als auch auf die Herangehensweise an Aufgaben und Ziele auswirkt (Mc Clelland et al., 1953).

Ob eine Handlung erfolgreich abgeschlossen wird, kann von den Handelnden unterschiedlichen Ursachen zugeordnet werden. Erfolg oder Misserfolg kann auf interne (personenbezogene) Ursachen (z.B. hohe Intelligenz / wenig Intelligenz, ausreichend gelernt / zu wenig gelernt) oder auf externe (z.B. Glück / Pech, zu leichte Aufgabe / zu anspruchsvolle Aufgabe) zurückgeführt werden. Das Muster, bei dem Personen die Erfolge auf personenbezogene und Misserfolge auf externe Ursachen zurückführen, ordnet man der Erfolgsmotivation zu. Erfolgsmotivierte Personen setzen sich realistische Ziele und wählen eher mittelschwere Aufgaben aus, da sie so einen Leistungs- bzw. Lernzuwachs erwarten können und die Aufgaben lösbar erscheinen. Dies führt zu einem positiven Selbstbild und zu einer starken Leistungsmotivation (Weiner, 1986; Brunstein & Heckhausen, 2010).

Umgekehrt, werden Erfolge auf externe und Misserfolge auf interne Ursachen begründet, führt dies zu einem geringeren Selbstwertgefühl. Misserfolgsmotivierte wählen eher sehr leichte oder eher sehr schwere Aufgaben aus. Im Falle der sehr leichten Aufgaben ist die Wahrscheinlichkeit eines Misserfolges sehr gering, wohingegen bei den sehr schwierigen Aufgaben der Misserfolg, das Scheitern an der Aufgabe, auf die Schwierigkeit der Aufgabe zurückzuführen ist. Hierbei entziehen sich die Misserfolgsmotivierten realistischen Rückmeldungen und das Selbstbild wird verzerrt (Weiner, 1986; Brunstein & Heckhausen, 2010).

Damit der Handelnde überhaupt über Erfolg oder Misserfolg entscheiden kann, müssen „Handlungen oder Handlungsergebnisse auf einen Tüchtigkeitsmaßstab bezogen werden, den man für verbindlich hält, so dass am Ende letztlich Erfolg oder Misserfolg steht“ (Heckhausen, 1974, S. 170). Dabei kann die Bezugsnorm, an der man sich orientiert, sowohl individuell (Ergebnisse werden mit vorherigen Ergebnissen verglichen) als auch sozial (eigene Ergebnisse werden mit an denen von anderen gemessen, z.B. Klasse) sein (Brunstein & Heckhausen, 2010).

Forschungsergebnisse (Rheinberg & Krug, 1999) haben gezeigt, dass die individuelle Bezugsnorm sich positiv auf die Lernmotivation auswirken kann, da hierbei der persönliche Lernzuwachs und das Bemühen um den Lerngegenstand in den Vordergrund rücken (Brunstein & Heckhausen, 2010). Die Leistungsmotivation beeinflusst somit auch das Leistungsverhalten.

2.3 Interesse

Unter Interesse versteht man allgemein die Aufmerksamkeit, die eine Person einem Gegenstand oder einer anderen Person widmet. Dabei gilt, dass das Interesse umso größer ist, je länger sich die Person der Sache oder der Person widmet. In der Psychologie wird Interesse als ein mehrdimensionales Konstrukt verstanden, dem ein Gegenstandsbezug zu Grunde liegt (Todt, 1978; 1990).

Neuere Forschungsansätze verwenden die Person-Gegenstands-Konzeption. Hierbei wird Interesse nicht als eine feste persönliche Eigenschaft definiert, sondern entsteht durch eine Interaktion zwischen der Person und ihrer Umwelt. Interesse wird gefördert, wenn der Gegenstand mit einer hohen subjektiven Wertschätzung erfasst wird und die emotionalen Erfahrungen (Erlebnisqualität) während der Interessenshandlung positiv sind (Krapp, 1998; Schiefele, 1996; 2001).

Prenzel (1988), Krapp (1992a) und Schiefele (1996; 2001) sprechen dabei von positiver wertbezogener und emotionaler Valenz. Bei der wertbezogenen Valenz wird die persönliche Bedeutung zum Gegenstand untersucht. Die Tätigkeit „stimmt mit den aktuellen Zielen und Wünschen der handelnden Person weitgehend überein. Die Person hat das Gefühl, ausschließlich das zu tun, was sie selbst für richtig hält und aus eigenen Stücken tun will“ (Krapp, 1992a, S. 311). Durch die individuelle Bedeutung unterscheidet sich Interesse von z.B. Aufmerksamkeit oder Neugierde (Krapp, 1998b).

Die emotionale Valenz befasst sich mit der gefühlten Wahrnehmung zum Gegenstand und wurde von Prenzel (1988) in drei Abstufungen gegliedert:

- (1) Bei einer „Person-Gegenstands-Auseinandersetzung“ kann ein angenehmes Spannungsgefühl entstehen, welches durch ein optimales Anspruchsniveau ausgelöst wurde. (Csikszentmihalyi & Schiefele, 1993).
- (2) Durch die positiven Erfahrungen, die während des kompetenten Erlebens ihrer eigenen Fähigkeiten bei der Ausübung der Tätigkeit zurückgespiegelt werden, entstehen bei der Person Kompetenzgefühle, die sich langfristig positiv auf das Interesse bezogen auf den Gegenstand auswirken. (Csikszentmihalyi, 1985).
- (3) Bei interessegesteuerten Tätigkeiten fühlt sich die Person unabhängig und autonom. Im Idealfall wurde die Tätigkeit selbstintentional ausgelöst. Das Gefühl der Selbstbestimmung wirkt sich positiv auf das Interesse aus (Prenzel, 1988).

Bei aufeinander folgenden „Person-Gegenstands-Auseinandersetzungen“ werden neue Erfahrungen gemacht und dadurch Kompetenzen entwickelt oder ausgebaut (Krapp, 1998). Hierbei hat die interessierte Person die Absicht, ihr Können bzw. ihr Wissen auf- bzw. auszubauen (Prenzel, 1988).

Nach Vogt (2007) gibt es drei Merkmalskomponenten, die die Aufrechterhaltung von Interesse bestimmen: die wertbezogene, die emotionale und die kognitive Komponente. Bei der wertbezogenen Komponente entsteht aufgrund der Bedeutsamkeit, die die Person zum Gegenstand hat, Interesse (z.B. Sprache eines Freundes lernen). Die emotionale Komponente zeigt sich, wenn bei der Person positive Gefühle (z.B. Freude, Zufriedenheit) bei der Auseinandersetzung mit dem Gegenstand aufgebaut werden. Wenn die Person ihr Wissen und / oder ihre Fähigkeit an dem Gegenstand erweitern möchte, entspricht dies der kognitiven Komponente (z.B. Studium) (Prenzel, 2000). Bei vermehrter

Auseinandersetzung der Person mit dem Gegenstand mit positiven Erfahrungen bezogen auf die drei Merkmalskomponenten handelt die Person aus eigenem Interesse (Schiefele & Streblow, 2006).

Insgesamt ist Interesse notwendig, um Sachverhalte und Zusammenhänge zu verstehen und stellt somit auch eine Voraussetzung für effektives Lernen dar (Schiefele & Schreyer 1994; Krapp 1992b; 1996a).

2.3.1 Interessensgenese

Die entscheidende Frage ist, wie Interesse generiert wird. Die zwei bedeutsamen Motivationsforscher Krapp & Ryan (2002) unterscheiden situationales von individuellem Interesse.

Unter situationalem Interesse verstehen Krapp & Ryan (2002) die Entstehung von Interesse nach Reizaufnahme (Interessiertheit). Die Interessantheit des Gegenstands bzw. der Situation ist hierfür bedeutsam.

Das individuelle Interesse stellt eine persönlichkeitspezifische Eigenschaft der Person mit einer verhältnismäßig stabilen motivationalen Veranlagung für einen gewissen Gegenstand dar (Vogt, 2007) und zeigt sich dadurch, dass die Person die Tätigkeit regelmäßig über einen längeren Zeitraum ausübt (Krapp, 1999a). Dabei kann der Auslöser für die Ausübung der Tätigkeit unterschiedlich sein, sodass das individuelle Interesse in zwei Unterformen unterteilt wird: das dispositionale („innere Bereitschaft sich mit dem Interessensgegenstand auseinanderzusetzen“ (Vogt, 2007)) und das aktualisierte Interesse (Auslösung eines individuellen Interesses durch Reiz) (Krapp, 1992).

Beide Arten von Interesse können sich ergänzen bzw. ineinander übergehen (vom situationalem zum individuellen Interesse) (Hidi, 1990; Bergin, 1999). Dabei wird die Interessehandlung jedes Mal neu von den drei Kriterien Person, Gegenstand und Situation bestimmt (Krapp, 1992a). Der Übergang von situationalem zu individuellem Interesse wird durch ein Modell von Mitchell (1993) erklärt. Dabei muss zuerst die Aufmerksamkeit bzw. das Interesse der Lernenden „eingefangen“ werden („catch-Komponente“ z.B. Aktualitätsbezug, Diskrepanzerlebnis). Dieses führt zu einem kurzfristigen situationalem Interesse. Anschließend muss für die Entwicklung von Interesse das situationale Interesse stabilisiert werden („hold-Komponente“ z.B. positive Erlebnisqualität, persönlich sinnvoll).

Werden die drei Merkmalskomponenten (kognitiv, emotional und wertbezogen) positiv erlebt, entsteht eine Identifikation und Internalisierung, welche unter günstigen Voraussetzungen die Bildung von individuellem Interesse auslöst (Krapp, 1992a).

2.3.2 Nichtinteresse

Nichtinteresse kann sich entwickeln, wenn bei der Person-Gegenstands-Auseinandersetzung die Qualität der drei Merkmalskomponenten (kognitiv, emotional und wertbezogen) gering ist (z.B. negative Gefühle, keine oder negative Bedeutung). Dabei wird Nichtinteresse in Desinteresse und Abneigung aufgegliedert.

Unter Desinteresse versteht man einen Zustand der Gleichgültigkeit bezogen auf einen Gegenstand. Besteht Desinteresse gegenüber einem Gegenstand, so kommt freiwillig keine Person-Gegenstands-Auseinandersetzung zustande. Dadurch kann die Person lediglich punktuell Wissen aufbauen (Upmeyer zu Belzen & Voigt, 2001).

Abneigung ist die deutlich negativere Einstellung einer Person gegenüber einem Gegenstand. Diese Art des Nichtinteresses ist durch negative Person-Gegenstands-Auseinandersetzungen hervorgegangen und dementsprechend nun mit ausgeprägt negativen Gefühlen behaftet, wodurch eine negative Wertschätzung entstanden ist. Dadurch erfolgt eine aktive Vermeidung einer Person-Gegenstands-Auseinandersetzung (Upmeyer zu Belzen & Vogt, 2001).

Somit verhindert Nichtinteresse sowohl bei Desinteresse als auch besonders bei Ablehnung die Entwicklung von Lernmotivation.

2.4 Voraussetzung für Lernmotivation

Damit sich Lernmotivation überhaupt aufbauen kann, müssen nach Deci & Ryan (1993; 2000) drei angeborene psychologische Grundbedürfnisse (basic needs) befriedigt werden: Kompetenzerleben, Autonomie und soziale Eingebundenheit.

Intrinsisch motivierte Handlungen beruhen auf Kompetenzerleben und Autonomieerfahrungen. Die Tätigkeit wird nur fortgeführt, wenn diese Gefühle weiterhin ausgelöst werden. Das soziale Umfeld kann die Entstehung beider Gefühle positiv und negativ beeinflussen (Deci & Ryan, 1993 S. 230ff).

Extrinsisch motivierte Handlungen basieren auf allen drei psychologischen Grundbedürfnissen (Deci & Ryan, 1991). Auch hier kann der soziale Kontext die

extrinsische Motivation beeinflussen. Durch ein förderndes Umfeld kann der psychologische Prozess der Internalisierung alle Stadien der extrinsischen Verhaltensregulation bis zur integrierten Regulation erreichen (Deci & Ryan, 1993, S. 232).

2.5 Lernmotivation in der Schule

Beim schulischen Lernen sind die Themen, die zum Gegenstand des Interesses werden sollen, durch die Curricula vorgegeben. Dies kann mit den Interessen der SuS übereinstimmen oder nicht. Ein Großteil der Unterrichtsthemen ist somit für die SuS fremdbestimmt.

Des Weiteren befinden sich die SuS der weiterführenden Schulen in der Phase der Adoleszenz und somit in der Phase der Identitätsfindung. „Wer bin ich, wie bin ich, was soll ich tun, was soll ich werden?“ sind Fragen, mit denen sich Jugendliche beschäftigen. Die Suche nach möglichen Berufen fällt somit ebenfalls in diese Zeit. Durch solche Suchen angetrieben, werden ständig neue Interessensgebiete innerhalb und außerhalb der Schule entdeckt, was dazu führen kann, dass eine Neuorientierung des Interessensprofils vorgenommen wird, welche sich auf die Lernmotivation in der Schule auswirkt (Krapp, 2003, S. 99). Daher ist es für nachhaltige Wissensvermittlung wichtig, die Lernmotivation der SuS innerhalb der Schule zu steigern, in dem die drei Grundbedürfnisse erfüllt werden. Kompetenz- und Autonomieerfahrungen können SuS vielseitig in der Schule erleben z.B. durch Aufgaben, die erfolgreich alleine gelöst werden konnten, durch Lob von Lehrenden oder anderen SuS, durch ein erfolgreiches Referat oder durch gegenseitiges Erklären. Entscheidend hierbei sind auch die pädagogischen Fähigkeiten des Lehrenden, der diese Erfahrungen positiv verstärken sollte.

Das Gefühl der sozialen Eingebundenheit kann in der Schule sehr intensiv erlebt werden, wenn man sich in der Klassengemeinschaft wohl fühlt. Umgekehrt kann eine Ausgrenzung eines SuS oder einer Teilgruppe aus der Klassengemeinschaft dazu führen, dass die Lernmotivation in der Klasse bei dieser Person / Gruppe stark reduziert oder gar eliminiert wird. Je positiver das Klassenklima ist, desto besser wird dementsprechend diese Grundvoraussetzung der Lernmotivation für alle Beteiligten in dieser Klasse erfüllt.

Neben der Erfüllung der drei Grundbedürfnisse und der pädagogischen Fähigkeiten der Lehrenden hat auch die didaktische Unterrichtsgestaltung einen großen Einfluss auf die Lernmotivation. Hierbei sind besonders Interesse weckende Einstiege oder die Erkenntnis,

dass die folgenden Unterrichtsthemen für die SuS selbst eine Bedeutung erhalten, erfolgreich. Auch eine klare Strukturierung hilft dabei, die Lernmotivation aufrecht zu halten, da so keine Langeweile durch Inaktivität entsteht. Langeweile steht dem Aufbau von Lernmotivation entgegen. Folglich sollte der Unterricht abwechslungsreich gestaltet werden, um die Lernmotivation zu erhöhen (Meyer, 2004).

3 Lernen

In dieser Forschungsarbeit ist mit Lernen ein Zuwachs von Wissen gemeint. Dabei kann Wissen in deklaratives und prozedurales Wissen eingeteilt werden. Das deklarative Wissen kann sprachlich mitgeteilt werden (z.B. Wissen über Fakten, Prozessabläufe, Sachverhalte). Das prozedurale Wissen zeigt sich in Handlungssituationen (z.B. motorische Prozesse, Durchführung von Experimenten, Operationen); ohne prozedurales Wissen würden die jeweiligen Situationen nicht erfolgreich beendet werden (Renkl, 2015). Unabhängig von der Art des Wissens sollte das oberste Ziel beim Lernen sein, dass das angeeignete Wissen nachhaltig ist und auf neue Situationen oder Probleme angewendet werden kann (Anderson, 1996).

In diesem Kapitel werden zunächst die Lerntheorien des Konstruktivismus (s. Kap. 3.1) und des Forschenden Lernens (s. Kap. 3.2) vorgestellt, um ein Verständnis für Lernprozesse und Wissensaufbau zu erhalten. Abschließend wird auf das Lernen mit Computersimulationen eingegangen, sowie deren Vor- und Nachteile diskutiert (s. Kap. 3.3).

3.1 Konstruktivistisch orientierte Lerntheorien

3.1.1 Konstruktivistisches Lernen

Bezogen auf die Theorie des Konstruktivismus ist Lernen ein aktiver Konstruktionsprozess, bei dem der Lernende seine individuelle Repräsentation der Realität entwickelt (Glaserfeld, 1985). Wissen kann folglich nicht vermittelt werden, sondern muss von jedem Menschen jedes Mal neu konstruiert werden. Dabei entscheiden seine individuellen Sinneseindrücke darüber, was er wahrnimmt. Die Wahrnehmung wird durch die individuelle Prägung des Lernenden beeinflusst, da die Umweltreize, die die Sinnesorgane aufnehmen, vom Gehirn verarbeitet und interpretiert werden und so zu einem individuellen und subjektiven Eindruck werden. Nach dem Konstruktivismus ist Lernen ein Prozess, der sowohl durch die Person als auch durch die Umwelt beeinflusst wird (Glaserfeld, 1985).

Was genau gelernt wird, ist abhängig von Vorwissen, Einstellungen und der aktuellen Lernsituation (s. Kap. 3.1.2 Problemorientiertes Lernen und Kap. 3.2 Forschendes Lernen).

3.1.2 Problemorientiertes Lernen

Problemorientiertes Lernen soll langfristig für die Lösung von Problemen anwendbar sein. Dabei wird mit Problemen gearbeitet, deren Lösung durch die Lernenden eigenständig erarbeitet werden soll. Im Idealfall werden die Probleme von den Lernenden selbst erkannt. Dies fördert die kognitive Auseinandersetzung und verhilft zu einer positiven Haltung gegenüber dem Lerngegenstand (Gräsel, 2000). Um für die Lernenden bedeutsam zu werden, sollten die Probleme einen Bezug zu authentischen Situationen haben. Hilfreich hierbei sind Aktualitätsbezüge, die Interesse oder Betroffeneinheit wecken. Bestenfalls erachten die Lernenden das zu Lernende als für sich sinnvoll (Reinmann-Rothmeier & Mandl, 2002).

Die Verwendung von anwendungsbezogenen (authentischen) und problemorientierten Aufgaben soll der Bildung von tragem Wissen entgegen wirken, da das neue Wissen in einem Zusammenhang gelernt wurde und somit auf ähnliche Situationen oder Probleme übertragbar ist (Killermann et al., 2009). Dieses kontextbezogene Lernen verstärkt zusätzlich das Interesse (Häussler & Hoffmann, 1995) und die Aktivität der Lernenden (Bönsch, 2000) sowie die Motivation (Reinmann-Rothmeier & Mandl, 2001).

Beim Problemorientierten Lernen sollte der Lehrende darauf achten, dass sie den Lernenden zu ausreichend Freiraum und Zeit zur eigenständigen Problemlösung verhelfen. Dabei leiten sie die Lernenden an, unterstützen oder beraten sie. Zudem sollten sie darauf achten, dass kooperatives Lernen ermöglicht wird, sodass mehrere Perspektiven auf den Problemlöseprozess wirken (Reinmann-Rothmeier & Mandl, 2001).

Das problemlösende Denken wird besonders beim Forschenden Lernen gefördert.

3.2 Forschendes Lernen

Das Forschende Lernen ist eine Verbindung aus Forschen und Lernen. Nach Huber (2009a, S. 11) „zeichnet sich das forschendes Lernen vor anderen Lernformen dadurch aus, dass die Lernenden den Prozess eines Forschungsvorhabens, das auf die Gewinnung von auch für Dritte interessanten Erkenntnissen gerichtet ist, in seinen wesentlichen Phasen – von der Entwicklung der Fragen und Hypothesen über die Wahl und Ausführung der Methoden bis zur Prüfung und Darstellung der Ergebnisse in selbstständiger Arbeit oder in aktiver Mitarbeit in einem übergreifenden Projekt – (mit)gestalten, erfahren und reflektieren“.

Dementsprechend sollen die Lernenden mit Hilfe des Forschenden Lernens sich aktiv mit gegenwärtigen Themen auseinandersetzen, indem sie sich eigenständig einer (im Idealfall selbstgestellten) Untersuchungsfrage widmen und diese mit wissenschaftlichen Arbeitsmethoden untersuchen. Das Ergebnis des Forschenden Lernens darf hierbei schon erforscht sein. Entscheidend für das Forschende Lernen ist, dass die Fragestellung für den Lernenden unbekannt ist und somit für ihn neu erforscht werden kann (Huber, 1970). Im Anschluss an die Untersuchung(en) sollen die Ergebnisse dargestellt und die aufgestellten Hypothesen überprüft werden (Huber, 1970). Das Forschende Lernen besitzt somit eine hohe SuS-Zentrierung und fördert den Ausbau der Selbständigkeit der Lernenden. Infolgedessen muss das Forschende Lernen sowohl inhaltlich als auch methodisch an den Vorkenntnissen der SuS angepasst sein, um diese nicht zu überfordern.

Durch die Methode des Forschenden Lernens soll bei den SuS ein tiefgehendes und nachhaltiges Lernen erreicht werden. Gleichzeitig werden durch den Forschungsprozess Fähigkeiten und Fertigkeiten entwickelt (Huber, 2009b). Zudem kann das Forschende Lernen gut als binnendifferenzierende Maßnahme in einer heterogenen Lerngruppe angewandt werden, da „es vielfältige Zugänge und Lernwege ermöglicht“ (Gotzen et al., 2015). Des Weiteren werden die Handlungs- und Methodenkompetenz, die Problemlösefähigkeit, die Selbstständigkeit sowie die Fähigkeit im Team zu arbeiten, ausgebaut (Didion & Wiemer, 2009).

Forschendes Lernen beim Experimentieren

Das Forschende Lernen lässt sich besonders gut durch Experimentieren fördern. Beim Experimentalunterricht werden die nötigen Informationen und Abläufe weitestgehend selbstständig erarbeitet, unter anderem müssen Fragen entwickelt, Hypothesen aufgestellt, Durchführungsschritte überdacht und Ergebnisse ermittelt und ausgewertet werden. Überprüfen die Lernenden ihre Hypothesen, muss das neu erarbeitete Wissen in Bezug zum vorhandenen Vorwissen gedeutet und in die eigene Wissensstruktur integriert werden. Je größer die Öffnung der Phasen bzgl. Aufstellung der Untersuchungsfrage, Planung und Durchführung des Experiments für die SuS ist, desto eigenständiger und selbstbestimmter erfolgt das Forschende Lernen (van Joolingen & de Jong, 1997).

Insgesamt kann sich das Forschende Lernen bei Experimenten positiv auf die Lernqualität auswirken, da das selbständig entdeckte und erarbeitete Wissen auf neue ähnliche Lernsituationen besser übertragen werden kann (Stern & Schuhmacher, 2004).

3.3 Lernen mit Computersimulationen

Auftrag aller Fächer ist es, die Medienkompetenz zu schulen, da diese eine „unabdingbare Voraussetzung beruflicher Perspektiven in sämtlichen Bereichen der Arbeitswelt und Grundlage politischer Partizipation“ (Deutscher Bildungsserver, 2012) darstellt, in der sich das Wissen ständig weiterentwickelt und somit Medienkompetenz zu einem bedingenden Faktor für das lebenslange Lernen wird. Der Computereinsatz im Unterricht soll die Medienkompetenz der SuS ausbauen und erweitern. Der Medienpädagoge Dieter Baake, versteht unter dem Begriff Medienkompetenz „die Fähigkeit, Medien und die dadurch vermittelten Inhalte den eigenen Zielen und Bedürfnissen entsprechend effektiv nutzen zu können“ (Gerhart-Billes, 2009, S. 53).

Computersimulationen werden als eine gute Möglichkeit zum Ausbau dieser Fähigkeit angesehen. Eine Computersimulation ist „ein Programm, das einen Prozess oder ein natürliches oder künstliches System mit deren bestimmenden Parametern nachbildet und dem Lernenden ein gefahrloses Experimentieren erlaubt“ (Urhahne et al., 2000, S. 165).

Grundsätzlich sollten Computersimulationen in Form von Virtuellen Experimenten kein Ersatz für mögliche Realexperimente sein (s. Kap. 3.3.2 Nachteile von Computersimulationen). Deshalb sollte man beim Unterrichten, wann immer dies möglich ist, auf authentische Experimente zurück greifen. Nichtsdestotrotz bieten Computersimulationen viele Vorteile (s. Kap. 3.3.1), die ihre Anwendung rechtfertigen.

3.3.1 Vorteile des Lernens mit Computersimulationen

Computersimulationen ermöglichen auf vielfältige Weise eine Verbesserung der Unterrichtsqualität und der Unterrichtsorganisation für Lehrende und Lernende – vor allem für den naturwissenschaftlichen Unterricht. Die Verwendung von Computersimulationen stellt eine organisatorische Erleichterung für den Lehrenden dar, da keine Versuchstiere, keine Chemikalien und keine weiteren Geräte neben der Computerausstattung benötigt werden. Dadurch fallen keine zusätzlichen Kosten und Wege an. Einmal gut ausgearbeitet, kann die Unterrichtseinheit leicht wiederholt werden, sodass insgesamt für die Lehrkräfte ein Zeitgewinn entsteht (Schenkel, 2002). Des Weiteren können in Form einer Computersimulation auch Experimente durchgeführt werden, die in der Realität zu gefährlich oder zu langwierig wären. Dabei können Prozesse, die mit den vorhandenen Geräten nicht sichtbar gemacht werden können oder insgesamt schlecht darstellbar wären,

veranschaulicht werden (Breuer & Kummer, 1990). Computersimulationen bieten somit ganz andere Darstellungsmöglichkeiten als Versuche in der Realität. Um einen möglichst großen Lerngewinn zu erzielen, liegen Messergebnisse idealisiert vor, wichtige Teilaspekte werden hervorgehoben oder komplexe Prozesse werden durch Animationen veranschaulicht (Strzebkowski & Kleeberg, 2002).

Im Vergleich zu Texten und Abbildungen ermöglichen Computersimulationen ein hohes Maß an Interaktivität. Die Lernenden können durch ihre Handlungen die Menge des angebotenen Wissens, die Informationsreihenfolge sowie den Darbietungszeitraum stark beeinflussen. Gleichzeitig werden die Handlungen der Lernenden auch durch den jeweiligen Prozess in der Simulation beeinflusst; Elemente aus Info- und Edutainment versuchen die Handlungen der Lernenden zu steuern sowie die Lernmotivation und die Leistungsbereitschaft zu erhöhen (Strzebkowski & Kleeberg, 2002). Computersimulationen sind möglichst adaptiv gestaltet, d. h., sie passen sich an das Vorwissen, an die Lese- und Verarbeitungsgeschwindigkeit sowie an die benötigte Lernzeit der SuS an. So entsteht für die SuS echte Lernzeit. Insgesamt kann so eine große Selbstlernphase mit intelligenten Übungsphasen entstehen. Zusätzlich können im Idealfall mehrere Lernstrategien angewendet werden, indem das Lernen über mehrere Aufnahmekanäle ermöglicht wird. Dieses multisensorische Lernen erhöht die Lernmenge (Killermann et al., 2009).

Um ebenfalls einen hohen nachhaltigen Lerngewinn zu erreichen, wird der Lerninhalt in mehrere kleine Sinneinheiten unterteilt. Dies vereinfacht die Integration und die Vernetzung in die „kognitiven Landkarten“⁴. Zur Überprüfung des eigenen Lernfortschritts werden bei Computersimulationen oft nach jeder Sinneinheit Lernzielüberprüfungen eingebaut (Arnold, 2000). Somit findet auch ein hohes selbständiges Arbeiten statt, da die SuS sich selbstständig überprüfen müssen. Computersimulationen, die einen Prozess oder ein System mit zu bestimmenden Parametern darstellen, bieten einen relativ authentischen Kontext und ermöglichen Lernen in relativ „realistischer“ Lernumgebung. Somit soll träges Wissen verhindert werden (Gräsel et al., 1997). Mittels Computersimulationen wird sowohl das deklarative als auch das prozedurale Wissen gefördert, da sowohl Fakten- und Prozesswissen als auch Anwendungsmethoden gelernt werden (Tennyson & Breuer, 2002).

Da Wissenslücken nicht öffentlich werden, kann davon ausgegangen werden, dass

⁴ "Kognitive Landkarte" ist ein Begriff aus der Kognitionspsychologie, der auf E. Tolman (1948) zurück geht. Eine kognitive Landkarte ist ein räumlich abstrakt visualisiertes Modell von Wissen. Dabei sind die verschiedenen Informationen strukturiert und miteinander verbunden.

die SuS diesbezüglich nicht demotiviert werden (Niegemann et. al., 2008). Ferner sind die Möglichkeiten Fehler zu machen, deutlich geringer, da das Lernen gelenkt und fokussiert stattfindet (Niegemann et. al., 2004).

Insgesamt soll auch die Motivation durch den Einsatz von Computern bei SuS steigen (Handley, 2008; Passey et. al. 2004). Bei motivierten und ausdauernden Lernern wurde festgestellt, dass sich die benötigte Lernzeit verkürzt (Fletcher, 1990; Adams, 1992). Für die Lehrenden bieten Computersimulationen neben der organisatorischen Entlastung eine Befreiung von der frontalen Wissensvermittlung. Dadurch wird Zeit für eine individuelle Betreuung geschaffen (Arnold, 2000).

Neben diesen Vorteilen gibt es natürlich auch Nachteile (s. Kap. 3.3.2), die man bei einer Verwendung von einer Computersimulation beachten sollte.

3.3.2 Nachteile von Computersimulationen im Unterricht

Wie bei jeder Präsentationsform lassen sich auch für Computersimulationen Kritikpunkte finden. Die SuS benötigen eine gewisse Einarbeitungszeit, bis sie die Bedienung von Computersimulationen erlernt haben (Tergan, 2002). Dies sowie eine Überforderung mit dem Lerninhalt könnten ohne einen Betreuer zu einer Reduzierung der Motivation führen. Verstärkt wird dies bei längerem isoliertem Lernen (Wilson, 2005). Durch die Idealisierung verlieren die Messungen ihre Authentizität und stellen dementsprechend nur einen Teilaspekt der Wirklichkeit dar (Mandl et al., 2002). Für die Bearbeitung der Aufgaben sind Messungen sowie Geräteeinstellungen im Programm des Öfteren begrenzt. Die Reihenfolge der Lernschritte ist häufig vorgegeben. Das reale Handeln bei Virtuellen Experimenten als Computersimulation wird auf die Maus- und Tastaturbedienung reduziert. Das forschende Lernen der SuS wird dadurch eingeschränkt (Arnold, 2000).

Insgesamt müssen die SuS über Selbstdisziplin und Selbstkompetenz verfügen, da Virtuelle Experimente im Normalfall selbstständig erarbeitet werden. Durch die eigenverantwortliche Bearbeitung können Fragen ungeklärt bleiben bzw. Verständnisfehler konstruiert werden (Schenkel, 2002).

Für die Durchführung Virtueller Experimente wird ein Computerraum mit ausreichender Geräteanzahl und installierter Software benötigt. Aufgrund von Softwareupdates können Kompatibilitätsprobleme entstehen (Schuhmann, 2008). Grundsätzlich kann sich lange Bildschirmarbeit ermüdend auf die Konzentration der SuS auswirken, was eine Reduzierung der Leistung zur Folge haben kann (Nowak, 2010).

4 Außerschulische Lernorte

Unter dem Begriff außerschulischer Lernort kann man sämtliche Orte außerhalb des Schulgeländes verstehen, an dem die SuS gemeinsam mit Lehrenden zur besseren Veranschaulichung der jeweiligen Unterrichtsinhalte lernen. Im Kapitel „Außerschulische Lernorte“ wird zunächst ein Überblick über die außerschulischen naturwissenschaftlichen Lernorte gegeben (Kap. 4.1) und anschließend wird das Schülerlabor samt seiner Vorteile (s. Kap. 4.2) vorgestellt.

4.1 Außerschulische naturwissenschaftliche Lernorte

Wie schon erwähnt, dienen außerschulische Lernorte der besseren Veranschaulichung von Unterrichtsinhalten. Dabei kann ein außerschulischer Lernort für das Lernen mit SuS der jeweiligen Altersklasse vorstrukturiert sein (z.B. Museen) oder eben nicht (z.B. Gewässer, örtliche Gärtnerei) (Salzmann, 2007). Grundsätzlich dient der Besuch des außerschulischen Lernortes dazu, den SuS einen Praxisbezug zur Thematik zu ermöglichen.

Für den naturwissenschaftlichen Unterricht gibt es ein reichhaltiges Angebot. Neben Biotopen kann man nach Brandt (2005, S. 57) die Angebote, die naturwissenschaftliche Interesse und Lernen außerhalb der Schule fördern, in zwei Gruppen unterteilen: Museen und Schülerlabore.

Da zwei der drei Gruppen dieser empirischen Untersuchung ihre Unterrichtseinheit als Realexperiment bzw. Virtuelles Experiment in einem universitären Labor durchgeführt haben, wird das Schülerlabor im folgenden Kapitel noch vertieft.

4.2 Schülerlabore

Schülerlabore sollen Kindern und Jugendlichen experimentelle Erfahrungen in Naturwissenschaften bieten, die die SuS sonst nicht erleben könnten. Viele Schülerlabore befinden sich in Kooperation mit Universitäten oder Forschungseinrichtungen (z.B. zdi-Schülerlabor Uni-Köln, BayLab von Bayer in Wuppertal, MaxLab vom Max-Planck-Institut am Campus Martinsried). Aufgrund der deutlich besseren Ausstattung können viele Experimente durchgeführt werden, die in der Schule – zum Teil auch aufgrund der Sicherheitsvorschriften - nicht durchgeführt werden können. Auch die direkte Arbeit mit Wissenschaftlern kann SuS begeistern; Erkenntnisse und Methoden aus der aktuellen

Forschung für SuS altersgerecht aufbereitet, wirken sich positiv (Scharfenberg, 2005; Guderian, 2008; Engeln 2004) und nachhaltig auf das Interesse von SuS aus (Engeln & Euler, 2004).

Im Schülerlabor kann sich die Lerngruppe besser als in der Schule auf ein Thema fokussieren, da das Thema nicht durch die nächste Unterrichtsstunde nach 45 Minuten abgelöst wird. Folglich kann eine tiefere Verarbeitung im Gehirn stattfinden, da keine Überlagerung durch etwas Neues geschieht (OECD, 2004). Es entsteht somit echte Lernzeit und auch das Autonomieerleben wird nicht eingeschränkt, was sich ebenfalls förderlich auf die Motivation auswirkt (Deci & Ryan, 2003). Ein weiterer positiver Aspekt ist, dass es bei der Bearbeitung der Themen im Schülerlabor keinen direkt spürbaren Notendruck gibt, was zu einer angenehmeren Lernatmosphäre führen kann und somit die Qualität des Lernens sowie den Lernerfolg verbessert (Meyer, 2004).

Bei vielen Experimenten, die im Schülerlabor stattfinden, erfahren die SuS eine hohe Eigenaktivität, da sie diese hauptsächlich eigenständig durchführen und die darauf ausgerichteten Aufgaben gemeinsam bearbeiten. Um den Lernerfolg zu erhöhen sind die Experimente im Idealfall verständlich, klar strukturiert und schülerzentriert aufgebaut (Meyer, 2004).

Die Experimente, die in Schülerlaboren durchgeführt werden, finden (wie bei naturwissenschaftlichen Experimentieren häufig üblich) fast immer in kooperativen Lernformen statt. Des Öfteren sind Arbeitsschritte alleine gar nicht durchführbar, sodass die SuS auf ihre Partner angewiesen sind. Das fördert das Gefühl der sozialen Eingebundenheit. Dementsprechend werden in Schülerlaboren alle drei Grundvoraussetzungen für die Entstehung von Lernmotivation (s. Kap. 2.4) fast⁵ immer in besonderen Maßen erfüllt. Dies ist ein weiterer Faktor, der zu der hohen Lernmotivation von SuS in diesem besonderen außerschulischen Lernort führt (Brandt, 2005).

⁵ z.B. bei bestimmten Kurssituationen

II. FORSCHUNGSANSATZ

5 Fragestellungen

Wie viel gelernt wird, ist nicht nur abhängig vom Lehrenden und vom Lernenden. Es gibt viele weitere Faktoren, die den Lernprozess beeinflussen. Unter anderem begrenzen die Faktoren Ausstattung und Zeit das Lernen. Da die Ausstattung in vielen Schulen aufgrund von finanziellen Einsparungen nicht den optimalen Voraussetzungen entspricht und auch die Zeit für die Bearbeitung der Lehrinhalte durch die Fülle der vielen Themen des Lehrplans eher knapp bemessen ist, sind Realexperimente im Biologieunterricht nicht immer ideal durchführbar. Aus diesem Problem ergab sich folgender Frageansatz: Kann ein Virtuelles Experiment ein gleichwerter Ersatz für ein Realexperiment sein?

Um dieser Frage nachzugehen, wurde eine Untersuchung gestartet, in der ein Unterrichtsthema mit drei Versuchsgruppen durchgeführt wurde. Alle drei Gruppen untersuchten neurophysiologische Eigenschaften von Aktionspotenzialen exemplarisch mittels des Versuchstieres Regenwurm. Die erste Gruppe absolvierte das Thema mittels eines Realexperiments, die zweite Gruppe mit einem Virtuellen Experiment in Form einer Computersimulation und die dritte Gruppe, die Kontrollgruppe, erarbeitete sich das Experiment und den gleichen Inhalt mit Arbeitsblättern.

In dieser Forschungsarbeit wurden die beiden Aspekte Lernerfolg und Lernzuwachs hinsichtlich der Fachkompetenz untersucht. Der Lernerfolg entspricht hierbei dem Ergebnis des Posttest. Dieser testet, das Fachwissen der SuS nach der Unterrichtseinheit. Der Lernzuwachs hingegen stellt die Differenz von Vorwissen und Lernerfolg dar, welches mit einem Pre- / Posttest-Design für sämtliche SuS erhoben wurde.

Des Weiteren wurde die Motivation bezogen auf die drei Unterrichtsformen getestet. Die Motivation wurde dabei in drei Kategorien unterteilt und getrennt analysiert: Interesse, Nichtinteresse und selbstbestimmte Motivation (s. Kap. 10.3, 11.4 und Anhang B-6). Zusätzlich wurde untersucht, ob das bei dieser Untersuchung ermittelte Vorwissen einen Einfluss auf den Lernerfolg sowie auf den Lernzuwachs hat und wie groß dieser Einfluss im Vergleich zu den Motivationsarten ist.

Ziel dieser Untersuchung ist es dementsprechend, zum einen weitere Erkenntnisse zu gewinnen, wie sich unterschiedliche Aspekte von Motivation und Vorwissen auf den Lernprozess auswirken, sodass im Idealfall diese Erkenntnisse die zukünftige Lehre positiv beeinflussen. Zum anderen soll herausgefunden werden, ob ein Virtuelles Experiment einen ähnlichen Lernerfolg bzgl. Fachkompetenz erreichen kann wie ein Realexperiment.

Diese Studie bezweckt jedoch nicht, dass Realexperimente ihren besonderen Stellenwert im Biologieunterricht verlieren. Mehr Authentizität als Experimentieren am Originalobjekt lässt sich nicht in den Unterricht einbringen. Des Weiteren sind viele Computersimulationen häufig schlecht ausgearbeitet oder nicht unter didaktischen Gesichtspunkten sowie dem Alter angemessen erstellt, sodass die Ergebnisse dieser Studie nicht generell auf sämtliche Computersimulationen übertragbar sind.

Folgende vier Fragen werden in dieser Studie untersucht:

Fragen zur Untersuchung

1. Unterscheiden sich Lernerfolg und Lernzuwachs bezogen auf Faktenwissen und inhaltliches Verständnis bei den drei Unterrichtsformen (Realexperiment, Virtuelles Experiment, Kontrollgruppe)?
2. Beeinflusst die Unterrichtsform die Motivation unterteilt in Interesse, Nichtinteresse und selbstbestimmte Motivation?
3. Beeinflusst die Motivation unterteilt in Interesse, Nichtinteresse und selbstbestimmte Motivation den Lernerfolg und den Lernzuwachs?
4. Beeinflusst das Vorwissen den Lernerfolg und den Lernzuwachs?

Untersuchungsfrage 1

Unterscheiden sich Lernerfolg und Lernzuwachs bezogen auf Faktenwissen und inhaltliches Verständnis bei den Unterrichtsformen (Realexperiment, Virtuelles Experiment, Kontrollgruppe)?

Hypothese zur Untersuchungsfrage 1

Beide Unterrichtsformen mit Experiment werden im Vergleich zur Kontrollgruppe ein besseres Ergebnis beim Lernerfolg und Lernzuwachs erzielen. Vermutlich können beim Realexperiment der größte Lernerfolg sowie der größte Lernzuwachs ermittelt werden.

Begründung der Hypothese zur Untersuchungsfrage 1

Bei allen drei Unterrichtsformen wurde bei der Gestaltung darauf geachtet, dass ein problemorientiertes Lernen stattfinden kann. Die SuS sollen sich zu einer Fragestellung eine Lösung überlegen und diese dann unter Anleitung umsetzen. Dieses geht in der Kontrollgruppe nur bedingt, auch hier sollen Lösungsideen selbstständig erarbeitet werden, allerdings ist das problemorientierte Lernen durch die fehlende Möglichkeit des eigenständigen Forschenden, selbstbestimmten und handlungsorientierten Lernens durch die Unterrichtsform „Arbeitsblätter“ eingeschränkt.

Im Gegensatz dazu ist dies bei experimentellem Unterricht jedoch in stark ausgeprägter Form gegeben. Grundsätzlich gilt Experimentieren als ganzheitliche Lernmethode in den Naturwissenschaften, da ein Lernen mit mehreren Sinnen garantiert wird. Der Lernprozess kann dadurch tiefergehend im Gehirn verarbeitet werden (Thompson, 2001).

Zudem sind Experimente höchst wissenschaftspropädeutisch; die SuS müssen bei diesem Experiment Fragestellungen über Hypothesen durch aktive Testung überprüfen und werden dabei an wissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen sowie an Methoden der wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung herangeführt. Durch den hohen Anteil praktischer Arbeit erleben die SuS einen hohen Grad an Selbstständigkeit und Handlungsorientierung. Nach dem Konstruktivismus findet Lernen nur dann statt, wenn die Lernenden sich aktiv mit ihrem Lernprozess auseinandersetzen und sich den Lerngegenstand selbstständig und individuell konstruieren (Glaserfeld, 1985). Dementsprechend müsste das Realexperiment den größten Lernerfolg sowie den größten Lernzuwachs erzielen. Die gemessenen Werte der SuS, die das Virtuelle Experiment durchlaufen hatten, müssten folglich etwas geringer ausfallen. Da bei der Kontrollgruppe die genannten Aspekte am geringsten vorhanden sind, sind bei dieser Gruppe der geringste Lernerfolg sowie der geringste Lernzuwachs zu erwarten.

Untersuchungsfrage 2

Beeinflusst die Unterrichtsform die Motivation unterteilt in Interesse, Nichtinteresse und selbstbestimmte Motivation?

Hypothese zur Untersuchungsfrage 2

Die SuS, die die Unterrichtseinheit in den Experimentversionen absolvieren, werden

höhere Motivationswerte erzielen als die Kontrollgruppe. Dabei werden die SuS der Unterrichtseinheit des Realexperimentes ein größeres Interesse und eine größere selbstbestimmte Motivation sowie ein geringeres Nichtinteresse zeigen als die SuS, die die Unterrichtseinheit in Form des Virtuellen Experiments durchliefen.

Begründung der Hypothese zur Untersuchungsfrage 2

Da beide Experimentformen deutlich vom alltäglichen Unterricht abweichen, wird vermutet, dass sich sowohl dieser Methodenwechsel als auch die Veränderung des Lernortes positiv auf die Motivation der SuS auswirken wird.

Ferner wird bei beiden Gruppen, die eine Unterrichtsform mit experimentellem Anteil durchlaufen, das Gefühl der Kompetenzerfahrung und der Selbstbestimmung größer sein, als bei der Kontrollgruppe, welches als Vorraussetzungen für die Motivationsbildung gilt (Deci & Ryan, 1993). Bei Experimenten ist das Gefühl der wahrgenommenen Tätigkeit größer, da die SuS bei den Experimenten mehr Freiheitsgrade als bei der Bearbeitung von Arbeitsblättern haben, wobei diese beim Virtuellen Experiment begrenzt sind. Die Durchführung der Experimente wird zwar durch Anleitungen und bezogen auf das Virtuelle Experiment durch Programm führende Elemente gesteuert, doch hat man auch hier deutlich mehr unterschiedliche Möglichkeiten als bei Arbeitsblättern. Im Gegensatz zur Kontrollgruppe können die beiden anderen Versuchsgruppen Fehler bei der Durchführung der Experimente machen. Diese Möglichkeit ist beim Virtuellen Experiment natürlich eingeschränkter und reduziert so einerseits die Selbstbestimmung, andererseits die Entstehung möglicher Frustration. Bei allen drei Unterrichtsgestaltungen wurde mit authentischen Nervenfaserableitungen gearbeitet. Nervenfaserableitungen sind Messungen des Membranpotenzials an einer Nervenfasern. Dabei sind beim Virtuellen Experiment deutlich mehr Ableitungen als bei der Kontrollgruppe und beim Realexperiment theoretisch unendlich viele für die SuS einsehbar.

Auch das Gefühl von „echten“ wissenschaftlichen Arbeiten steigt mit der Art der Unterrichtsdurchführung: Bei der Gruppe des Realexperiments wird dieses Gefühl am stärksten ausgeprägt sein, wohingegen es bei der Kontrollgruppe am schwächsten vorhanden sein wird. Dies müsste sich wiederum positiv auf die Motivation auswirken (Deci & Ryan, 1993).

Im Gegensatz zum Virtuellem Experiment können die SuS beim Realexperiment auch weitergehende Erfahrungen machen, wie z.B. dass Ergebnisse nicht einfach zu lesen

und zu interpretieren sind, Experimente nicht immer funktionieren oder dass Schwierigkeiten während des Ablaufs entstehen können.

Ferner müssen die SuS den Versuchsaufbau selbstständig durchführen und treten somit ebenfalls in direkten Kontakt zum Versuchstier und zu der Versuchsausrüstung. Folglich sind die Handlungsorientierung, die Authentizität und das Forschende Lernen beim Realexperiment ausgeprägter als beim Virtuellen Experiment. Somit wird erwartet, dass die Ergebnisse bezogen auf Interesse und auf die selbstbestimmte Motivation beim Realexperiment am ausgeprägtesten ausfallen, beim Virtuellen Experiment etwas geringer und bei der Kontrollgruppe am geringsten.

Im Gegensatz dazu wird angenommen, dass die Werte des Nichtinteresses bei der Kontrollgruppe am höchsten, beim Virtuellen Experiment deutlich schwächer und beim Realexperiment am geringsten sein werden.

Untersuchungsfrage 3

Beeinflusst die Motivation unterteilt in Interesse, Nichtinteresse und selbstbestimmte Motivation den Lernerfolg und den Lernzuwachs?

Hypothese zur Untersuchungsfrage 3

Die Motivationsarten beeinflussen das Lernen: Je höher das Interesse und die selbstbestimmte Motivation bei den SuS ist, desto größer werden der Lernerfolg und der Lernzuwachs ausfallen. Nichtinteresse wird mit Lernerfolg und Lernzuwachs negativ korrelieren.

Begründung der Hypothese zur Untersuchungsfrage 3

Damit ein Lernprozess stattfinden kann, muss es zu einer aktiven Auseinandersetzung mit dem Lernstoff kommen. Je intensiver und länger diese gedankliche Auseinandersetzung abläuft, desto wahrscheinlicher wird es für die meisten SuS, dass das jeweilige Thema in seiner Gesamtheit verstanden und somit gelernt wurde. Für diese Auseinandersetzung benötigt man Lernmotivation. Nach Brunstein & Heckhausen (2010) steigt mit der Leistungsbereitschaft auch das Leistungsverhalten.

Erst wenn der Lerngegenstand Bedeutung erhält und als interessant empfunden wird, werden die neuronalen Signale, die im Gehirn bei der Auseinandersetzung entstehen, im limbischen System weitergeleitet. Das limbische System ist eine funktionelle Einheit

mehrerer Strukturen im Gehirn, wie z.B. die Amygdala, der Hippocampus oder der Thalamus, die u.a. bei der Verarbeitung von Gefühlen, dem Lernen und der Gedächtnisbildung mitwirkt. Bei unwichtig empfundenen Signalen findet keine Weiterleitung in das Arbeitsgedächtnis statt und somit kann dieses Signal nicht als neuer Wissensbestand im Cortex in Form neuer Neuronenverbindungen aufgebaut werden (Thompson, 2010). Folglich kann ohne Interesse kein Lernen stattfinden.

Je ausgeprägter das Interesse, desto größer würden dementsprechend die Ergebnisse bezogen auf Lernerfolg und Lernzuwachs ausfallen. Dies gilt antiproportional natürlich auch für das Nichtinteresse. Durch die fehlende aktive Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand findet keine eigene Rekonstruktion statt, sodass für das Nichtinteresse folgendes zu erwarten ist: Je größer das Nichtinteresse ist, desto geringer werden die Werte bezogen auf den Lernerfolg bzw. den Lernzuwachs ausfallen.

Nach Deci & Ryan (1993) werden Handlungen, die als selbstbestimmt wahrgenommen werden, bedeutsam. Die Lernenden identifizieren sich mit den Werten und Zielen ihrer Aufgabe. Dementsprechend wird vermutet, dass je größer die selbstbestimmte Motivation ausfällt, desto größer werden der Lernerfolg sowie der Lernzuwachs sein.

Untersuchungsfrage 4

Beeinflusst das Vorwissen den Lernerfolg und den Lernzuwachs?

Hypothese zur Untersuchungsfrage 4

Das Vorwissen beeinflusst den Lernprozess; je ausgebildeter das Vorwissen ist, desto ausgeprägter sind der Lernerfolg und der Lernzuwachs.

Begründung zur Hypothese der Untersuchungsfrage 4

Nach der Theorie des Konstruktivismus ist das Lernen von jedem Lernenden und seinen Erfahrungen abhängig (s. Kap. 3.1). Lernen fällt somit dem Lernenden leichter, wenn das neu generierte Wissen an schon vorhandenes Wissen anknüpfen kann (Spitzer, 2009). Dementsprechend müssten der Lernerfolg und auch der Lernzuwachs größer ausfallen, wenn der Lernprozess an schon vorhanden Strukturen anknüpfen kann. Somit würde ein großes Vorwissen das Lernen erleichtern und zu einem größeren Lernerfolg sowie Lernzuwachs führen.

Erkenntnisse aus der Mathematikdidaktik unterstützen diese Hypothese. In einer Studie von Stern (2004) wurden Intelligenz und Mathematikleistungen zum Zeitpunkt der zweiten und der elften Klasse gemessen und miteinander korreliert. Nach dieser Studie scheint das fachspezifische Vorwissen deutlich wichtiger für den Aufbau von Fachwissen zu sein als Intelligenz (Stern, 2004, S. 47).

III. MATERIAL UND METHODEN

6 Unterrichtseinheit „Aktionspotenziale beim Regenwurm“

Für diese Studie absolvierten die drei Versuchsgruppen die Unterrichtseinheit „Aktionspotenziale beim Regenwurm“. Jede Versuchsgruppe erarbeitete sich denselben Lerngegenstand mit einer anderen Unterrichtsform (Realexperiment, Virtuelles Experiment und Arbeitsblättern). Bei dem Lerngegenstand handelte es sich um die Auslösung und Auswertung von Nervensignalen beim Regenwurm. Die drei verschiedenen Unterrichtsformen unterschieden sich in der methodischen Durchführung, inhaltlich sind sie identisch. Die Erarbeitungsphase fand bei allen in Form einer Selbstlerneinheit statt.

In diesem Kapitel wird zu Beginn der fachwissenschaftliche Hintergrund zum Experiment „Aktionspotenziale beim Regenwurms“ erläutert (s. Kap. 6.1). Anschließend wird auf den Versuchsaufbau beim Realexperiment eingegangen (s. Kap. 6.2). Danach werden die Erarbeitungsphasen der verschiedenen Unterrichtsformen (s. Kap. 6.3 & 6.6) samt Materialien (s. Kap. 6.4 & 6.5) sowie deren Unterschiede (s. Kap. 6.3.1 & 6.6) vorgestellt.

6.1 Fachwissenschaftlicher Hintergrund zum Experiment „Aktionspotenziale beim Regenwurm“⁶

Aktionspotenziale tragen als Signale Informationen vom Bildungsort zum Zielort. Dabei werden sie über Synapsen an weitere Neurone übertragen. Durch Erregung in einem Neuron werden Aktionspotentiale mittels elektrotonischer Erregungsausbreitung ausgelöst, aber nur dann wenn die Erregung ausreicht, um eine Depolarisation der Nervenfasermembran bewirken zu können. Als Grundvoraussetzung für eine Depolarisation gilt das Donnan-Gleichgewicht, ein Gleichgewichtszustand zwischen den Verhältnissen der Ionenkonzentrationen des Außen- und des Innenmilieus (Purves, 2006).

Dieses Gleichgewicht entsteht durch die elektrische Leitfähigkeit der Membran, welche über membrangebundene Ionenpumpen und -kanäle und durch die Permeabilität der Membran für Wasser und bestimmte Ionen erzeugt wird. Es verursacht eine Ladungsdifferenz, wobei das Neuroninnere gegenüber der Außenseite negativ geladen ist.

⁶ Dieses Kapitel entstammt der ersten Staatsexamensarbeit von: Bauer, Franziska, Erstellung von zwei Unterrichtseinheiten zur Durchführung elektrophysiologischer Experimente auf Grundlage der Datenerfassungs- und Unterrichtsplattform LabTutor®, Köln, 2010 (nicht veröffentlicht).

Diese Spannung wird bei einer nicht erregten Nervenzelle Ruhepotential genannt. In der Literatur werden für das Ruhepotential Werte von ca. -70 mV angegeben (Silverthorn, 2009), abhängig von der Spezies können diese Werte jedoch abweichen.

Während des Ruhepotentials befindet sich im Zellinneren eine höhere Kaliumkonzentration als im Außenmedium, wobei im Außenmilieu eine höhere Natriumkonzentration als im Inneren vorherrscht. Da ein Großteil der Ionenkanäle in der unerregten Zelle geschlossen ist, besitzt die Membran einen hohen elektrischen Widerstand. Lediglich Kalium gelangt über spezifische Kanäle entlang des Konzentrationsgefälles, das permanent über Natrium-Kalium-Pumpen aufrecht erhalten wird, ins Außenmilieu (Purves, 2006).

Wird die Nervenzelle z.B. ausreichend stark über synaptische Eingangssignale erregt, kann es zu einer Depolarisation des Zellkörpers kommen; dadurch kann anschließend der Axonhügel⁷ über elektrotonisch fortgeleitete Erregung depolarisiert werden. Dies führt zu einer Öffnung der spannungsabhängigen Natrium-Ionenkanäle, welche während des Ruhepotentials geschlossen waren (Purves, 2006). Bei einer überschwelliger Erregung folgt ein Aktionspotential, da die Depolarisation einen Großteil der spannungsgesteuerten Natriumkanäle geöffnet hat. Der Natriumeinstrom in das Zellinnere verursacht eine Ladungsumkehr, dabei wird das Membranpotential auf ca. 30 mV depolarisiert (Penzlin, 2005). Das Aktionspotential hält ca. 1-2 ms an. Aktionspotenziale folgen dem „Alles-oder-nichts-Gesetz“. Das „Alles-oder-nichts-Gesetz“ bedeutet, dass bei einem beliebig variierbaren Eingangswert ein vordefinierter Zustand entweder vollständig (alles) oder gar nicht (nichts) erreicht wird. Dabei muss der Eingangswert einen bestimmten Grenzwert (Schwellenwert) überschreiten.⁸

Aktionspotenziale können die umliegenden Regionen des Axons erregen und so dort Aktionspotenziale auslösen. Auf diese Weise werden Aktionspotenziale weitergeleitet (Silverthorn, 2009). Das Aktionspotential verläuft unidirektional (außer bei künstlicher Reizung des Axons); es kann sich nur in Richtung Synapse „bewegen“, da die soeben überschwellig erregte Membranstelle nicht sofort wieder ein Aktionspotential generieren kann. Dies liegt daran, dass die Inaktivierungstore der Natriumkanäle nach Erregung für 1-2 ms geschlossen bleiben. In dieser Phase kann dieser Membranabschnitt nicht erregt werden; diese Zeit wird absolute Refraktärzeit genannt. An die absolute Refraktärzeit

⁷ Wirbellose besitzen keinen Axonhügel, sondern eine Aktionspotential generierende Zone.

⁸ Wie man anhand der Ergebnisse aus dem Experiment „Aktionspotenziale beim Regenwurm“ sehen kann, ist diese Definition nicht immer korrekt (z.B. bei der relativen Refraktärzeit).

schließt sich die relative Refraktärzeit an, in welcher die Membranstelle nur schwer erregbar ist, da nur wenige Natriumkanäle schon wieder aktivierbar sind.

Für die Erregungsleitung gibt es zwei Formen: (1) die kontinuierliche und (2) die saltatorische Erregungsleitung (Purves, 2006).

(1) Bei der kontinuierlichen Form wird das Aktionspotenzial von Axonabschnitt zu Axonabschnitt neu generiert (Zündschnurprinzip). Die Fortleitungsgeschwindigkeit hängt hierbei hauptsächlich von der benötigten Zeit für das Aufladen der Kapazität der benachbarten Membranbereiche bis zum Erreichen des Schwellenpotentials zur Auslösung eines Aktionspotenzials ab. Die Fortleitungsgeschwindigkeit ist direkt proportional abhängig von der Längskonstante λ des Axons; vergrößert sich der Faserdurchmesser, so wird der Längswiderstand des Axoplasmas verkleinert und zugleich der Membranwiderstand relativ erhöht. Dies führt in Abhängigkeit zur Längskonstante zu einer schnelleren Leitungsgeschwindigkeit (Schmidt, 2006).

(2) Die saltatorische Erregungsleitung kommt hauptsächlich bei den Wirbeltieren vor. Hierbei werden die Axone von einer Myelinscheide umhüllt. Die gleichmäßigen Unterbrechungen der Myelinscheide heißen Ranvier'sche Schnürringe. Die Myelinisierung bewirkt eine Isolierung. Die Isolierung vergrößert den Membranwiderstand und reduziert die Kapazität. Dadurch können nur im Bereich der Ranvier'schen Schnürringe Aktionspotenziale gebildet werden. Das Aktionspotenzial „springt“ sozusagen von Schnürring zu Schnürring und erreicht hierbei deutlich höhere Geschwindigkeiten. Des Weiteren bewirkt die Isolierung einen fast verlustfreien Stromfluss (Schmidt, Schaible, 2006).

Der Regenwurm, das Versuchstier dieser Unterrichtseinheit, besitzt im Bauchmark drei dorsale Riesenfaser, die bei mechanischer Reizung das reflektorische Zusammenziehen bewirken. Es kommt zu einer synchronen Verkürzung der Längsmuskulatur benachbarter Körpersegmente (Storch & Welsch, 2002). Die Riesenfaser werden in zwei laterale und eine mediane unterteilt. Sie weisen eine Ummantelung durch Gliazellen auf, was zu einer gewissen Isolierung führt (Günther, 1976). Durch diese bedingte Isolierung vergrößert sich die Membranlängskonstante (Heldmaier & Neuweiler, 2003). Dadurch entsteht eine primitive saltatorische Erregungsleitung (Günther, 1976).

Bei der medianen Riesenfaser fehlen im Bereich der Septen⁹ teilweise die Membranen. Zusätzlich bilden sich Membranporen, auch „gap-junctions“ genannt, bei engem Membrankontakt aus, was ebenfalls die Leitungsgeschwindigkeit fördert. Dadurch „arbeitet“ die mediane Riesenfaser funktionell wie ein singuläres Axon. Mit einem ungefähren Durchmesser von 70 µm erreicht die mediane Riesenfaser Fortleitungsgeschwindigkeiten von 15-40 m/s. Das Signal wird hierbei von den Mechanorezeptoren des Vorderendes nach hinten weitergeleitet, um dort die Muskelkontraktion auszulösen (Heinzel, 1990).

In dem folgenden neurophysiologischen Versuch „Aktionspotenziale beim Regenwurm“ wurden Experimente an der medianen Riesenfaser durchgeführt. Dazu reizten die SuS diese Nervenfasern über Stromimpulse, um so Aktionspotenziale auszulösen und um anschließend deren Schwellenwerte zu bestimmen. (Teilweise wurden dabei auch die lateralen Fasern miterregt, worauf bei der Messauswertung geachtet werden musste.) In einem weiteren Teilversuch wurde die Geschwindigkeit der Aktionspotenziale für die mediane Riesenfaser ermittelt. Ferner wurden über zusätzliche Messungen die Riesenfaser des Regenwurms auf ihre relative und absolute Refraktärzeit überprüft. Abschließend wurden Untersuchungen zur Bidirektionalität durchgeführt.

6.2 Vorbereitung und Aufbau des Realexperiments „Aktionspotenziale beim Regenwurm“¹⁰

Um das Realexperiment „Aktionspotenziale beim Regenwurm“ durchzuführen, benötigte man pro Gruppe einen Regenwurm, eine Plexiglaswanne für den Regenwurm, in der sich in Ein-Zentimeter Abständen Kontaktstifte befanden, eine Schiebeleiste, die den in der Plexiglaswanne liegenden Regenwurm vor Austrocknung bewahrte, eine Petrischale, die zur Betäubung des Regenwurms mit 0,4 %iger Chlorobutanollösung gefüllt war, Zellstoffpapier, fünf Anschlussleitungen sowie einen BioAmpStecker und einen PowerLab.

Der Regenwurm wurde für ca. fünf Minuten in die Betäubungslösung gelegt. Danach wurde der Wurm mit Zellstoff abgetrocknet, da nur bei einem trockenen

⁹ Scheidewände, die die Regenwurmsegmente voneinander abtrennen

¹⁰ Dieses Kapitel entstammt überarbeitet aus der ersten Staatsexamensarbeit von: Bauer, Franziska, Erstellung

von zwei Unterrichtseinheiten zur Durchführung elektrophysiologischer Experimente auf Grundlage der Datenerfassungs- und Unterrichtsplattform LabTutor®, Köln, 2010, (nicht veröffentlicht).

III. Material und Methoden 6 Unterrichtseinheit „Aktionspotenziale beim Regenwurm“

Regenwurm „gute“ Nervenfaserableitungen erstellt werden können. Anschließend wurde überprüft, ob der Regenwurm vollständig betäubt war. Dafür wurde dieser mit Hilfe eines stumpfen Gegenstandes berührt. Wenn der Regenwurm keine Reaktion mehr zeigte, wurde er bäuchlings in die Plexiglaswanne gelegt und mit der Schiebeleiste bedeckt. Falls er doch noch reagierte, musste der Wurm zur Betäubung erneut für ca. fünf Minuten in die Petrischale mit 0,4 % iger Chlorobutanollösung gelegt werden.

Als Nächstes wurden die Elektroden an den PowerLab angeschlossen. (Der PowerLab ist ein Gerät, das verschiedene Verstärker, einen Analog-Digital- sowie einen Digital-Analog-Wandler enthält und es den SuS auf einfache Weise ermöglichte, Nervenfaserableitungen am Computer darzustellen.)

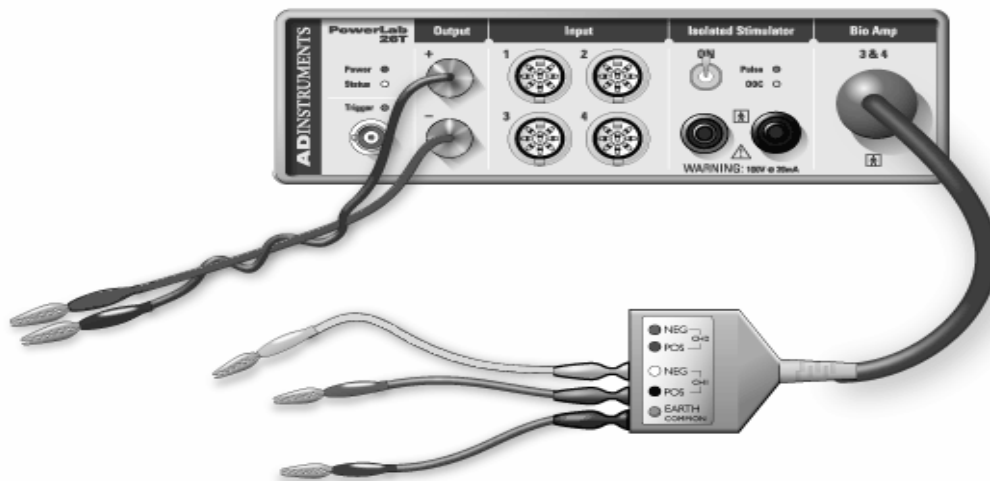


Abbildung 6.2.1. PowerLab26T mit Anode (rot) und Kathode (blau) sowie BioAmpStecker an dem sich die Aufnahmeelektroden (gelb & schwarz) sowie die Erde (grün) befinden (überarbeitetes Bild von ADInstruments 2007).

Dabei wurden Anode (rot) und Kathode (blau) mit dem Plus- und Minus-Anschluss des PowerLab verbunden (s. Abb. 6.2.1). Die Aufnahmeelektroden (gelb & schwarz) wurden in den gleichfarbigen markierten Plus- bzw. Minus-Ausgang des BioAmpSteckers hineingesteckt, der die Verbindung zum PowerLab darstellte (s. Abb. 6.2.1). (Der BioAmpStecker trennt die Potentiale und bietet eine Schutzisolation zwischen Versuchstier und Messinstrument.) Geerdet wurden der Regenwurm und die Versuchsapparatur über die grüne Elektrodenleitung, welche ebenfalls über die gleichfarbige Buchse des BioAmpSteckers mit dem PowerLab verbunden war (s. Abb. 6.2.1).

III. Material und Methoden 6 Unterrichtseinheit „Aktionspotenziale beim Regenwurm“

Die anderen Leitungsenden wurden an die Kontaktstifte der Plexiglaswanne gesteckt. Hierbei war zu beachten, dass die Elektroden an der caudalen Körperseite direkt nach dem Clitellum an die Metallstifte angesteckt wurden, da die Messungen am Clitellum aufgrund seines dicken Drüsengewebes zu ungenauen Messergebnissen geführt hätten. Direkt nach dem Clitellum wurden die Anode (rot), danach die Kathode (blau) und anschließend die Erde (grün) an die Kontaktstifte der Plexiglaswanne angeschlossen. Um die Messung besser vor Störstrahlung zu schützen, befand sich unterhalb der Plexiglaswanne eine geerdete Abschirmplatte (s. Abb. 6.2.2). Die beiden Aufnahmeelektroden (gelb & schwarz) wurden etwas weiter hinten¹¹ am Regenwurm an die Plexiglaswanne angeschlossen (s. Abb. 6.2.2).

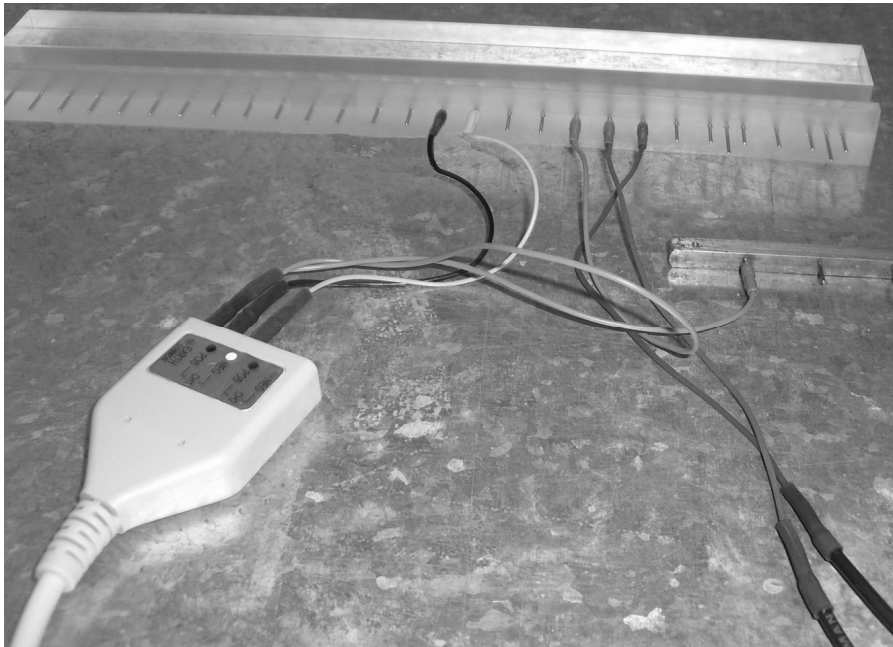


Abbildung 6.2.2. Aufbau des Experiments „Aktionspotenziale beim Regenwurm“ an der Plexiglaswanne (ohne Regenwurm und Abdeckleiste) mit Anode (rot), Kathode (blau), BioAmpStecker, Erde (grün) und Aufnahmeelektroden (gelb & schwarz).

Über die Anode und Kathode wurde mit Hilfe des PowerLab eine Spannung kontrolliert ausgelöst, die den Regenwurm reizte und eine Veränderung des Membranpotenzials auslöste. Falls dieser Reiz für die mediane Riesenfaser überschwellig war, löste er ein Aktionspotenzial aus. Dieses Signal wurde über die mediane Riesenfaser weitergeleitet

¹¹ ca. 5 cm, abhängig von der Regenwurmlänge

und von den Aufnahmeelektroden gemessen. Mittels des PowerLab wurde dieses Signal verstärkt und am Computer grafisch dargestellt.

6.3 Erarbeitungsphase der Unterrichtseinheit „Aktionspotenziale beim Regenwurm“

In der Erarbeitungsphase ging es inhaltlich darum, Aktionspotenziale an der medianen Riesenfaser des Regenwurms auf das „Alles-oder-Nichts-Gesetz“, auf die Leitungsgeschwindigkeit, auf die absolute und die relative Refraktärzeit sowie auf Bidirektionalität zu untersuchen.

Insgesamt war dabei die Erarbeitungsphase in vier konstruktivistisch aufgebaute Teilversuche aufgegliedert, die sich je nach Unterrichtsform in der Darstellung unterschieden. Die Erarbeitungsphase fand kooperativ in Partnerarbeit statt.

6.3.1 Die Teilversuche in den beiden Experimentversionen (real und virtuell)¹²

Im Teilversuch 1 „Auslösen von Aktionspotenzialen an der mittleren Riesenfaser“ überlegten die SuS zuerst selbst, wie man ein Aktionspotenzial auslösen könnte. Anschließend überprüften sie ihre Überlegung, indem sie die mediane Riesenfaser überschwellig reizten und dadurch Aktionspotenziale auslösten. In diesem Versuchsteil lernten die SuS, dass bei der Reizung entstehende Reizartefakt vom Aktionspotenzial zu unterscheiden sowie die Amplitude und die Latenz des Aktionspotenzials zu bestimmen. Danach planten die SuS ihr weiteres Vorgehen zur Ermittlung der Reizschwelle der Nervenfasern und bestimmten diese danach unter Anleitung. Zum Abschluss untersuchten die SuS in diesem Teilversuch das „Alles-oder-Nichts-Gesetz“, indem sie mehrere Aktionspotenzialaufnahmen hinsichtlich Latenz und Amplitude miteinander verglichen.

Bei Teilversuch 2 „Berechnung der Leitungsgeschwindigkeit“ ließen sich die SuS zuerst eine Möglichkeit einfallen, wie man mit Hilfe der Formel $v = s/t$ die Fortleitungsgeschwindigkeit von Aktionspotenzialen ermitteln konnte.¹³ Im Anschluss berechneten die SuS für einen bestimmten Nervenfasernabschnitt die durchschnittliche

¹² Dieses Kapitel entstammt überarbeitet aus: Bauer, Franziska, Aktionspotenziale beim Regenwurm – ein virtuelles Experiment, In: Praxis der Naturwissenschaften – Biologie in der Schule, 63 (2014) 4, S. 18-24.

¹³ Geschwindigkeit (v) = Strecke (s) / Zeit (t)

Leitungsgeschwindigkeit, indem sie von zwei bestimmten Aufnahmen die jeweilige Latenz (t) und den jeweiligen Messabschnitt (s) in die Formel $v = (s_1 - s_2) / (t_1 - t_2)$ einfügten¹⁴ und anschließend die Geschwindigkeit (v) ausrechneten. Abschließend überlegten die SuS, welche Faktoren die Leitungsgeschwindigkeit beeinflussen.

Auch im Teilversuch 3 „Bestimmung der absoluten und relativen Refraktärzeit“ durchdachten die SuS nach einer kurzen Vorstellung der beiden zunächst ihr weiteres Vorgehen. Hierbei entwickelten sie eine Methode, mit der sich die absolute Refraktärzeit ermitteln ließ. Für die Bestimmung der absoluten Refraktärzeit stimulierten die SuS anschließend die mediane Riesenfaser mit einem überschwelligem Doppelreiz und fanden heraus, ab welchem Intervall die Nervenfasern nur noch mit einem Aktionspotenzial reagierte. Für die Bestimmung der relativen Refraktärzeit verglichen die SuS die Amplituden ihrer Aktionspotenzialaufnahmen aus diesem Teilversuch und überprüften, ab welchem Intervall die Amplituden wieder identische Größen aufwiesen. Bei diesem Teilversuch bewerteten die SuS das „Alles-oder-Nichts-Gesetz“, indem sie erkannten, dass das Gesetz für fast alle Fälle gültig ist, für die Phase der relativen Refraktärzeit jedoch nicht anwendbar bzw. falsch ist. Hierfür musste das erlernte Fachwissen aus dem ersten Teilversuch erneut aufgegriffen und transferiert werden.

Der letzte Teilversuch „Bidirektionalität“ war freiwillig und diente als weitere differenzierende Maßnahme; er bot sich für SuS mit schnellem Lerntempo, hohem Lerninteresse und / oder besonderer Lernbereitschaft an (Paradies & Linser, 2012).

Zuerst wurde der Begriff Bidirektionalität erklärt und die SuS durchdachten ihr weiteres Vorgehen, wie man Bidirektionalität nachweisen könnte. Anschließend führten die SuS den Versuch zur Bidirektionalität durch und untersuchten dabei, ob Nervenfasern Aktionspotenziale in beide Richtungen leiten können. Die SuS erkannten, dass Bidirektionalität nur bei künstlicher Reizung entsteht, indem sie erklärten, warum Aktionspotenziale ‚normalerweise‘ nur in eine Richtung geleitet werden. Dabei mussten die SuS auf ihr neu erlerntes Wissen aus Teilversuch 3 zurückgreifen.

¹⁴ Zur Bestimmung der Fortleitungsgeschwindigkeit wird die Formel der Differenzmethode verwendet, um im Bereich der Reizelektroden die entstehenden Messungenauigkeiten wegzukürzen.

6.3.2 Unterschiede der Teilversuche im Virtuellen Experiment zum Realexperiment

Natürlich kann ein Virtuelles Experiment (s. Anhang A-6) nicht identisch zu einem realen Experiment sein. Folgende Unterschiede ergaben sich bei dem Unterrichtsmaterial:

Beim Virtuellen Experiment konnten die SuS nicht unendlich Einstellungen bzgl. der Geräteeinstellungen vornehmen, die Anzahl der Parameter war somit begrenzt genauso wie die Aufnahmen der Membranpotenziale durch die vorher aufgenommenen Messungen, die im Programm aufrufbar waren, limitiert waren. Dadurch erhielt das Virtuelle Experiment eine geringere Authentizität. Dies wurde noch dadurch verstärkt, dass die aufgenommenen Messungen ideale Ergebnisse waren, die im Realexperiment teilweise schwierig oder manchmal auch gar nicht so messbar sind, da Ableitungen von Nervenfasern von vielen Faktoren beeinflusst werden (z.B. Störsignale durch elektrische Geräte). Folglich waren die Messergebnisse leichter verständlich und besser deutbar. Gleichzeitig waren hierbei keine Messfehler möglich.

Ferner wurden im Virtuellen Experiment Prozesse dargestellt, die sonst während des Experimentierens nicht sichtbar sind (z.B. Erklärung Reizartefakt), um mit Hilfe einer besseren Veranschaulichung ein besseres Verständnis zu erreichen. Die Theorie wurde somit an die Ergebnisse geknüpft.

Des Weiteren unterschied sich diese Experimentversion dadurch, dass keine Begegnung mit dem Versuchstier Regenwurm stattfand. Die SuS mussten keine Betäubung vornehmen oder darauf achten, dass der Regenwurm korrekt und unter guten Bedingungen in der Plexiglaswanne lag. Auch entfiel der Umgang mit den elektrischen Geräten (abgesehen vom Computer), sodass insgesamt ein Großteil der haptischen Auseinandersetzung aufgrund des reduzierteren zeitlichen Anteils des praktischen Arbeitens wegfiel und somit auch die Methodenkompetenz für Experimentieren sowie die Handlungsorientierung geringer gefördert wurde.

Die Nachbesprechung im Plenum wurde durch die einheitlichen Ergebnisse erleichtert, allerdings war sie nicht so differenziert wie bei einem Realexperiment möglich, da z.B. auch keine Fehleranalyse stattfand.

6.4 Skript¹⁵

Das Skript „Aktionspotenziale beim Regenwurm“ (s. Anhang A-1 & A-2) setzte sich mit

¹⁵ Dieses Kapitel entstammt überarbeitet aus: Bauer, Franziska, Aktionspotenziale beim Regenwurm – ein virtuelles Experiment, In: Praxis der Naturwissenschaften – Biologie in der Schule, 63 (2014) 4, S. 18-24.

den fachlichen Grundlagen auseinander. Einleitend wurden das Nervensystem des Regenwurms und die besondere Eignung der Riesenfaser für Experimente vorgestellt. Anschließend wurde auf die Weiterleitung von Aktionspotenzialen, speziell der saltatorischen Erregungsleitung, die bei der medianen Riesenfaser erfolgt, eingegangen. Als Nächstes wurden die intrazelluläre und die extrazelluläre Messung genau erläutert. Abschließend ging das Skript auf die Entstehung der absoluten und der relativen Refraktärzeit ein.

Da die SuS sich selbstständig – wie bei einem naturwissenschaftlichen Studium – mit dem fachlichen Inhalt des Skripts nach ihrem eigenen Ermessen auseinandersetzen sollten, beinhaltete es keine Arbeitsaufträge. Der Inhalt des Skripts zielte zum einen darauf ab, die SuS auf einen ähnlichen Wissensstand zu bringen, indem die Fachinhalte der vorherigen Unterrichtsstunden zusammengefasst dargestellt wurden und zum anderen lieferte es die inhaltlichen Voraussetzungen, die für das Verständnis für die Unterrichtseinheit „Aktionspotenziale beim Regenwurm“ notwendig waren. Aufgrund des hohen Komplexitätsgrades und der Länge des Skripts sollten die SuS über ausreichend Bearbeitungszeit (ca. drei Tage) verfügen. Die SuS mussten sich bewusst sein, je intensiver das Skript gelesen und nachvollzogen worden war, desto tiefer würde der Inhalt der Unterrichtseinheit erfasst. Während der Erarbeitungsphase fungierte das Skript als Nachschlagewerk.

Über das Skript erhielten die SuS, die das Realexperiment durchführten, ein paar weitergehende Informationen bezüglich des Versuchstieres sowie einige Erläuterungen zur Softwarebedienung, die beim Skript für die Gruppe des Virtuellen Versuchs nicht enthalten waren (s. Anhang A-1 & A-2).

Die Phase der Einzelarbeit ermöglichte den SuS, sich in ihrem individuellen Lerntempo mit dem schon bekannten Lerninhalt auseinanderzusetzen und diesen zu vertiefen sowie sich die neuen Lerngegenstände des Skripts anzueignen. Des Weiteren wurde durch das eigenverantwortliche Lernen die Selbstständigkeit ausgebaut (Schnack, 2008).

6.5 Aufgabenprotokoll¹⁶

Parallel zur Durchführung des Experiments bearbeiteten die SuS ein Aufgabenprotokoll (s.

¹⁶ Dieses Kapitel entstammt überarbeitet aus: Bauer, Franziska, Aktionspotenziale beim Regenwurm – ein virtuelles Experiment, In: Praxis der Naturwissenschaften – Biologie in der Schule, 63 (2014) 4, S. 18-24.

Anhang A-3). Dabei wurden die SuS in ihrer Erfahrung, dass wissenschaftliche Experimente und Protokolle eine Einheit bilden, bestätigt und die Anfertigung eines Protokolls als standardisierte wissenschaftliche Methode verinnerlicht. Um die Protokollierung zu vereinfachen sowie um Zeit einzusparen, war das Versuchsprotokoll mit Hilfe von Aufgabenstellungen vorstrukturiert. Gleichzeitig erhielt das Protokoll dadurch eine bedeutende Steuerungsfunktion, sodass die SuS auf zentrale Aspekte aufmerksam gemacht wurden. Das selbstständige Lernen und Arbeiten der SuS wurde durch die Anfertigung des Aufgabenprotokolls ebenfalls ausgebaut.

Nach dem Versuch wurden die ermittelten Ergebnisse des Protokolls mit einer zweiten Partnergruppe verglichen und besprochen. Diese Phase diente dazu, die Ergebnisse innerhalb der Vierer-Gruppe selbstständig zu kontrollieren und zu berichtigen. Abschließend überprüften und verbesserten die SuS mit Hilfe eines Lösungsblatts (s. Anhang A-4 bzw. A-5) zum Protokoll ihre Ergebnisse selbstständig und eigenverantwortlich. Die gesamte Protokollphase diente der selbstverantwortlichen Sicherung der Lernergebnisse durch die SuS sowie dem Ausbau ihrer Eigenverantwortung.

6.6 Unterrichtseinheit „Aktionspotenziale beim Regenwurm“ mit Arbeitsblättern

Zur Kontrolle der Ergebnisse dieser Studie wurde eine dritte Unterrichtsform gewählt, bei dem der gleiche Unterrichtsinhalt zur Unterrichtseinheit „Aktionspotenziale beim Regenwurm“ mittels Arbeitsblättern in Form einer Selbstlerneinheit dargeboten wurde (s. Anhang A-7).

Identisch zu den beiden neurophysiologischen Experimenten in Form des Realexperimentes und des Virtuellen Experiments wurde ebenfalls das Skript als inhaltliche und methodische Grundlage ausgehändigt. Dieses diente während der Erarbeitungsphase genauso als mögliches Nachschlagewerk.

Die Erarbeitungsphase gliedert sich ebenfalls in die vier Teilversuche auf. Für die inhaltliche Bearbeitung der Teilversuche wurden Abbildungen des Virtuellen Experiments entnommen, die von den SuS ausgewertet wurden. Gleichzeitig wurden in die Arbeitsblätter die identischen Protokollfragen integriert.

7 Fachdidaktische Grundlagen

Um eine gute Unterrichtseinheit zu gestalten, sollte sie fachdidaktisch durchdacht sein. Dazu mussten verschiedene Schritte geplant werden. Gängige Überlegungen betreffen die folgenden Fragen: Wie soll der Unterrichtsgegenstand aufgearbeitet werden? Wie soll die Umsetzung gestaltet werden? Welche Lernziele sollen von den SuS erreicht werden. Welchen Bezug nimmt die Einheit zum Lehrplan? Und wie steht diese Unterrichtseinheit zur Unterrichtsreihe?

In diesem Kapitel werden deshalb die fachdidaktischen Grundlagen aufgeführt. Dazu gehört die Gestaltung der Unterrichtseinheit nach fachdidaktischen Gesichtspunkten (s. Kap. 7.1), die Lernziele (s. Kap. 7.2), die mit dieser Unterrichtseinheit verfolgt werden, der Bezug zum Lehrplan (s. Kap. 7.3) sowie wie diese Unterrichtseinheit in die Unterrichtsreihe eingebettet war (s. Kap. 7.4).

7.1 Gestaltung der verschiedenen Unterrichtsformen unter fachdidaktischen Gesichtspunkten

7.1.1 Gestaltung der Unterrichtseinheit als Realexperiment bzw. als Virtuelles

Experiment unter fachdidaktischen Gesichtspunkten¹⁷

Beim Experimentieren sollten die SuS entsprechend dem Forschenden Lernen eigenständig die praktischen Untersuchungsmethoden planen und sich autark mit den neuen Lerngegenständen auseinandersetzen und diese handlungsorientiert erschließen. Dadurch sollte das selbstständige Denken und Handeln ausgebaut werden.

Bei dem Experiment „Aktionspotenziale beim Regenwurm“ stand die Arbeitsweise Experimentieren mit hypothetischen Überlegungen zum Experimentablauf, eigenständiger Durchführung und Auswertung im Vordergrund. Die Unterrichtseinheit förderte somit das wissenschaftliche Denken und Arbeiten. Nach Fradd et al. (2015) besaß die Gestaltung dieser Unterrichtseinheit bezogen auf die Phasen des Forschenden Lernens einen Öffnungsgrad 3. Die Öffnungsgrade wurden von 0 – 5 eingeteilt; je höher der Öffnungsgrad, desto eigenständiger müssen die SuS sich mit dem Thema auseinandersetzen. Einschränkungen im Öffnungsgrad gab es, da bei den Teilversuchen die

¹⁷ Dieses Kapitel entstammt überarbeitet aus der zweiten Staatsexamensarbeit von: Bauer, Franziska, Entwicklung und Erprobung eines Unterrichtskonzeptes zur Förderung des selbstständigen und kooperativen Lernens im Leistungskurs Biologie unter Einsatz eines virtuellen Simulationsversuches zur neuronalen Informationsverarbeitung, 2012 (nicht veröffentlicht).

Untersuchungsfragen vorgegeben waren und auch die jeweiligen Planungsphasen für die weitere Durchführung bei Bedarf von den SuS nachgelesen werden konnte.

Entsprechend des ganzheitlichen Lernens, welches beim Experimentieren üblich ist, fand auch hier ein Wechselspiel von „Kopf, Herz und Hand“ (Pestalozzi) statt, da die SuS nicht nur kognitiv Probleme lösten, sondern für die Bewältigung der Aufgaben die Parameter an den unterschiedlichen Geräten virtuell oder real einstellen mussten. Die Einstellung der Parameter war beim Virtuellen Experiment gegenüber dem Realexperiment eingeschränkter.

Um bei allen SuS, die jeweils individuelle Lernvoraussetzungen und -bedürfnisse besitzen, einen möglichst großen Lerngewinn zu erzielen, beinhaltete jede Lern- bzw. Versuchseinheit Maßnahmen der inneren Differenzierung. Für alle Abschnitte galt, dass das Lernen der Partner im individuellen Tempo stattfand. Ferner bot sowohl das Realexperiment als auch das Virtuelle Experiment den SuS an, unterschiedliche Lernwege zu gehen; sie konnten Bekanntes erneut wiederholen, vertiefen oder überspringen. Da die SuS eigenständig ihren Weg durch die jeweiligen Kapitel des Virtuellen Experiments gingen und dabei ihren individuellen Kenntnisstand feststellten, konnten sie ihre Fähigkeiten und ihr Fachwissen selbst einschätzen. Zusätzlich adaptierten die SuS die Menge des angebotenen Wissens, die Reihenfolge und Dichte der Themenbearbeitung sowie den Darbietungszeitraum an ihren jeweiligen Kenntnisstand.

Um Fragen zu lösen, konnten sie selbstständig über die Zuhilfenahme des Skripts sowie über die Intensität der gedanklichen Auseinandersetzung mit seinem Inhalt entscheiden. Die kooperative Zusammenarbeit im Zweierteam bewirkte, dass man sich gegenseitig unterstützte und so seine individuellen Stärken ausbaute bzw. seine Lerndefizite kompensierte. Zusätzlich wurden die sozialen Fähigkeiten gestärkt (Arnold, 2000). Als weitere differenzierende Maßnahme wurden im Virtuellen Experiment und im Protokoll offene Fragen eingebaut, sodass die SuS in unterschiedlicher Qualität antworten konnten.

Der gegenseitige Austausch der Ergebnisse zum Abschluss der Unterrichtseinheit durch zwei Zweiergruppen sowie deren Kontrolle mit Hilfe des Lösungsblattes diente der Vertiefung des Gelernten. Zum einen wurde der Lerngegenstand ein weiteres Mal wiederholt (intelligentes Üben), dabei musste das Erlernete in Sprache umgewandelt und (Verständnis-) Probleme oder Fehler diskutiert werden. Zum anderen mussten einige SuS anderen SuS Lerninhalte erklären, sodass diese „Lernen durch Lehren“ praktizierten.

Sowohl während der Erarbeitungs- als auch bei der Auswertungsphase des

Virtuellen bzw. des Realexperiments wechselte der Lehrkörper von der Rolle des Wissensvermittlers zum Lernbegleiter. Er erhielt dadurch Zeit, die SuS zu unterstützen. Hierbei konnten die SuS unterschiedlich intensiv Zuwendung einfordern und der Lehrkörper konnte den unterschiedlichen Bedürfnissen der SuS gerecht werden.

7.1.2 Gestaltung der Unterrichtseinheit mittels Arbeitsblättern unter fachdidaktischen Gesichtspunkten¹⁸

Die Unterrichtseinheit, die für die Kontrollgruppe gestaltet wurde, entsprach inhaltlich und soweit möglich auch didaktisch den Experimentversionen. Dabei wurden auch die Arbeitsblätter (s. Anhang A-7) nach den Theorien des Konstruktivismus möglichst problemorientiert und wissenschaftspropädeutisch gestaltet. Bei der Gestaltung dieser Unterrichtseinheit wurde (wie beim Virtuellen Experiment auch) das Experiment „Aktionspotenziale beim Regenwurm“ als Grundlage genommen. Deshalb wurden die identischen Protokollfragen in die Arbeitsblätter eingebaut, sodass die SuS von diesen Untersuchungsfragen durch das abgebildete Experiment geführt wurden. Die Selbstlerneinheit fand ebenfalls in Partnerarbeit statt und die SuS konnten individuell über ihre Zeit bestimmen. Auch in dieser Unterrichtsform diente das Skript als Nachschlagewerk und konnte individuell verwendet werden. Die Austauschphase zum Vergleichen der Ergebnisse sowie deren Verbesserung mittels der Lösungsblätter (s. Anhang A-8) fand genauso wie in den beiden anderen Unterrichtsformen statt.

Da es sich bei der gesamten Unterrichtseinheit um eine Selbstlerneinheit handelte, unterstützte die oder der Lehrende die SuS nur und versuchte möglichst wenig in ihre Selbständigkeit einzugreifen. Allerdings ist in dieser Experimentdarstellung, die nur auf Arbeitsblättern beruhte, der praktische Anteil auf die Auswertung der Messungen reduziert. Es fand keine Geräteeinstellungen oder Nervenfaserableitungen statt. Die Handlungsorientierung sowie das selbstbestimmte und das Forschende Lernen waren somit äußerst begrenzt. Auch fielen die Maßnahmen der inneren Differenzierung geringer aus, da keine Wiederholungen möglich waren und auch unterschiedliche Lernwege nur in einer Abweichung der Aufgabenreihenfolge begehbar gewesen wären. Insgesamt waren auch

¹⁸ Dieses Kapitel entstammt überarbeitet aus der zweiten Staatsexamensarbeit von: Bauer, Franziska, Entwicklung und Erprobung eines Unterrichtskonzeptes zur Förderung des selbstständigen und kooperativen Lernens im Leistungskurs Biologie unter Einsatz eines virtuellen Simulationsversuches zur neuronalen Informationsverarbeitung, 2012 (nicht veröffentlicht).

keine Elemente von Edu- und Infotainment vorhanden.

7.2 Lernziele der Unterrichtseinheit „Aktionspotenziale beim Regenwurm“¹⁹

Anhand dieser Unterrichtseinheit sollten die SuS mit Hilfe der Aufgabenstellungen lernen, selbständig (unter Anleitung) ein Experiment theoretisch bzw. praktisch durchzuführen, die ermittelten Ergebnisse zu sichern und auszuwerten. Dabei variierte je nach Gestaltung der Unterrichtseinheit der Praxisgrad. Des Weiteren sollten sie Gelerntes bei komplexen Problemen anwenden und es mit ihrem vorhandenen Wissen vernetzen können. Inhaltlich sollten die SuS ihr Vorwissen anwenden und vertiefen können. Zu dem Gelernten gehörten unter anderem der Prozess der Erregungsbildung, die kontinuierliche und die saltatorische Weiterleitung von Aktionspotenzialen sowie die Ursache für die absolute und die relative Refraktärzeit.

Nach der Unterrichtseinheit sollten die SuS eigenständig Schwellenwerte für singuläre Axone theoretisch bzw. praktisch ermitteln können. Ferner sollten sie verstanden haben, wieso ein Reizartefakt entsteht und seine ungefähre Gestalt graphisch darstellen können. Zusätzlich sollten sie die Begriffe Latenz und Alles-oder-Nichts-Gesetz erklären können. Sie sollten die Verläufe von intrazellulär abgeleiteten Aktionspotenzialen sowie von extrazellulär abgeleiteten Aktionspotenzialen graphisch darstellen können sowie begründen können, wie es zur ihrer unterschiedlichen Gestalt kommt. Des Weiteren sollten sie begründen können, warum ein Aktionspotenzial im natürlichen Fall immer unidirektional - vom Ort der Erregungsbildung zur Synapse - „läuft“. Außerdem sollten sie den Unterschied zwischen relativer und absoluter Refraktärzeit verstanden haben und ihn definieren können. Abschließend sollten die SuS ein Verständnis für die Fortleitung von Aktionspotenzialen aufbauen.

7.3 Legitimation durch den Lehrplan²⁰

Für den Biologieunterricht der Oberstufe waren drei Bereiche zu berücksichtigen, die sich

¹⁹ Dieses Kapitel entstammt überarbeitet aus der ersten Staatsexamensarbeit von: Bauer, Franziska, Erstellung von zwei Unterrichtseinheiten zur Durchführung elektrophysiologischer Experimente auf Grundlage der Datenerfassungs- und Unterrichtsplattform LabTutor®, Köln, 2010 (nicht veröffentlicht).

²⁰ Dieses Kapitel entstammt überarbeitet aus der zweiten Staatsexamensarbeit von: Bauer, Franziska, Entwicklung und Erprobung eines Unterrichtskonzeptes zur Förderung des selbstständigen und kooperativen Lernens im Leistungskurs Biologie unter Einsatz eines virtuellen Simulationsversuches zur neuronalen Informationsverarbeitung, 2012 (nicht veröffentlicht).

mit den Fachinhalten (I), dem Lernen im Kontext (II) und den Umgang mit Fachmethoden sowie den Formen des selbstständigen Lernens auseinandersetzen (III) (Lehrplan NRW, 1999, S. 8). Fachinhaltlich fügte sich die Unterrichtseinheit ausgezeichnet in das obligatorische Inhaltsfeld „Molekulare und cytologische Grundlagen“ des Halbjahresthemas „Steuerungs- und Regulationsmechanismen im Organismus“ ein (Lehrplan NRW, 1999, S. 42, 44). Da die Unterrichtseinheit, die in dieses Inhaltsfeld eingegliedert wurde, Kenntnisse aus den Fächern Physik und Chemie benötigten, fand ein Lernen im Kontext statt (Lehrplan NRW, 1999, S. 10).

In Anbetracht, dass das Unterrichtskonzept für diese Unterrichtseinheit die Intention verfolgte, die wissenschaftspropädeutische Ausbildung zu fördern, stand das wissenschaftliche Arbeiten im Vordergrund. Der Umgang mit Fachmethoden bezog sich folglich auf das problemlösende und schlussfolgernde Denken, das beim Experimentieren bzw. beim Auswerten von Daten (Lehrplan NRW, 1999, S. 61) mit Anfertigung eines Versuchsprotokolls benötigt wurde. Gleichzeitig wurde bei den SuS durch den Einbau des Forschenden Lernens sowie des kooperativen Lernens und Arbeitens die Selbstständigkeit und die Kommunikations- und Sozialkompetenz ausgebaut (Lehrplan NRW, 1999, S. 11). Auch der Einsatz des Computers war durch den Lehrplan legitimiert; das Virtuelle Experiment in Form einer Computersimulation veranschaulichte mehrere neurophysiologische Prozesse und stellte die Messergebnisse grafisch dar (Lehrplan NRW, 1999, S. 70).

7.4 Einbettung in die Unterrichtsreihe²¹

Die Unterrichtseinheit „Aktionspotenziale beim Regenwurm“ war Bestandteil der Unterrichtsreihe „Reizaufnahme und Erregungsleitung – Ein spannungsgeladener Vorgang?“. Die Inhalte dieser Unterrichtsreihe waren obligatorisch für die Qualifikationsstufe (Lehrplan NRW, 1999, S. 42, 44). Zuvor wurden in dieser Unterrichtsreihe für verschiedene Nervenfasern der Aufbau und die Funktion, die Ursachen für das Ruhepotenzial, die Entstehung von Aktionspotenzialen, die intrazelluläre Messung sowie die kontinuierliche und die saltatorische Erregungsleitung thematisiert. Die Unterrichtseinheit „Aktionspotenziale beim Regenwurm“ vertiefte exemplarisch all diese

²¹ Dieses Kapitel entstammt aus der zweiten Staatsexamensarbeit von: Bauer, Franziska, Entwicklung und Erprobung eines Unterrichtskonzeptes zur Förderung des selbstständigen und kooperativen Lernens im Leistungskurs Biologie unter Einsatz eines virtuellen Simulationsversuches zur neuronalen Informationsverarbeitung, 2012 (nicht veröffentlicht).

Themen. Inhaltlich mussten sich die SuS die absolute und die relative Refraktärzeit neu erarbeiten sowie die Methode der extrazellulären Messung verstehen. Diese wurde im Skript und im Experiment vorgestellt und musste von der intrazellulären Messung abgegrenzt werden. Anschließend schloss die Reihe mit dem Thema „Aktionspotenziale codieren Reizdauer und Reizstärke – Mehr als nur Einsen und Nullen?“ ab.

8 Untersuchungsmethoden

In der vorliegenden Forschungsstudie wurden die Motivation und die Wissensentwicklung von SuS der Sekundarstufe II, welche eine Unterrichtseinheit zu „Aktionspotenzialen beim Regenwurm“ in drei verschiedenen Unterrichtsformen durchgeführt haben, untersucht. Die Evaluation der Wissensentwicklung fand in dieser Studie in einem Pre- / Posttest-Design statt, wohingegen die Motivation mit nur einem Fragebogen am Ende der Unterrichtseinheit festgestellt wurde (s. Kap. 8.3.2 & 8.3.3).

Um ein besseres Verständnis zu ermöglichen, soll zunächst der Ablauf der Studie kurz skizziert werden (s. Kap. 8.1), bevor in den darauf folgenden Kapiteln auf die Stichprobe (s. Kap. 8.2) und die Erhebungs- und Auswertungsmethoden (s. Kap. 8.3) eingegangen wird.

8.1 Ablauf und Konzept der Studie zur Unterrichtseinheit „Aktionspotenziale beim Regenwurm“

Zu Beginn wurde der Ablauf der Unterrichtseinheit den SuS vorgestellt (s. Tab. 8.1.1). Um das Vorwissen der SuS festzustellen, mussten diese zuerst den Pretest ohne Hilfsmittel ausfüllen. Anschließend bekam jede Gruppe als Hausaufgabe auf, das Skript „Aktionspotenziale beim Regenwurm“ durchzulesen und seinen Inhalt zu verstehen. Hierzu sollten die SuS eine gewisse Bearbeitungszeit erhalten. Danach, bevor die drei verschiedenen Versuchsgruppen mit der Erarbeitungsphase starteten, fand eine gemeinsame Besprechung des Inhalts des Skripts statt. Hierbei wurden Verständnisfragen aufgegriffen und darauf geachtet, dass die SuS die Unterschiede zwischen intrazellulärer und extrazellulärer Messung verstanden hatten. Im Anschluss erfolgte dann die Erarbeitungsphase zum Thema „Aktionspotenziale beim Regenwurm“. Hierbei erarbeitete sich jede der drei Versuchsgruppen ($N \geq 50$) den gleichen Lerngegenstand mittels einer unterschiedlichen Unterrichtsform. Versuchsgruppe 1 führte ein Realexperiment an einem betäubten Regenwurm durch und wertete die gemessenen Nervenfasableitungen aus. Versuchsgruppe 2 durchlief das inhaltlich identische Experiment in Form eines Virtuellen Experiments, Versuchsgruppe 3 diente als Kontrolle, die sich dieselbe Thematik über Arbeitsblätter aneignete. Alle SuS der drei Gruppen arbeiteten zu zweit, aufgrund der teilweise ungeraden Zahlen gab es manchmal eine Dreier-Gruppe. (Dies glich sich bei den Versuchsgruppen in etwa aus.) Insgesamt benötigten die SuS ca. zwei Stunden für ihre

Selbstlernphase. Die Gruppe, die das Realexperiment durchführte, benötigte etwa eine Stunde mehr Zeit, da die Betäubung des Versuchstieres, der Versuchsaufbau und die Ableitung der medianen Riesenfaser von den SuS selbst durchgeführt wurden. Während der Erarbeitungsphase mussten alle SuS Fragen des Protokolls beantworten bzw. Arbeitsblätter ausfüllen (s. Anhang A-3 & A-7). Bei technischen Problemen der Experimentiergruppen oder bei Verständnisfragen wurde versucht, die Unterstützung auf ein Minimum zu begrenzen, um die Ergebnisse hinsichtlich Motivation und Lernen nicht zu beeinflussen.

Die Durchführung des Realexperiments und des Virtuellen Experiments fand in einem Praktikumsraum des Biozentrums der Universität zu Köln statt. Ein außerschulischer Lernort wirkt sich zwar positiv auf die Motivation aus (Brandt, 2005), allerdings nur dann, wenn die Erwartungen erfüllt werden (Urhahne, 2002). Da die Kontrollgruppe jedoch Arbeitsblätter ausgewertet hatte, wäre der Aufenthalt in einem universitären Labor sehr demotivierend gewesen, sodass die Kontrollgruppe in einem der Biologieräume der Schule während der normalen Unterrichtszeit arbeitete.

Die bearbeiteten Protokolle bzw. Arbeitsblätter wurden im Anschluss an die Erarbeitungsphase in einer Nachbesprechung im Unterrichtsgespräch auf seine Richtigkeit hin überprüft. Nach der Unterrichtseinheit erfolgte die Evaluation über die Fragebögen. Zuerst wurde der Motivationsfragebogen von den SuS ausgefüllt und danach der Posttest.

Tabelle 8.1.1

Ablauf der Unterrichtseinheit

Phase	Gegenstand	Sozialform
1.1	Einleitung, Vorstellung des Ablaufs der Unterrichtseinheit	LV
1.2	Pretest	EA
1.3	Skript als Hausaufgabe	EA
2.1	Besprechung des Skripts	UG
2.2	Erarbeitungsphase Experimente mit Protokoll bzw. Arbeitsblätter	PA
3.1	Gegenseitige Besprechung und Ergänzung des Protokolls	GA
3.2	Kontrolle mit Protokolllösung	GA
3.3	Ergebnisbesprechung	UG
4.1	Motivationsfragebogen	EA
4.2	Posttest	EA

Anmerkung. Phase 1.2, 4.1 sowie 4.2 dienen der Evaluation

LV = Lehrervortrag; EA = Einzelarbeit; PA = Partnerarbeit; UG = Unterrichtsgespräch; GA = Gruppenarbeit

8.2 Stichprobe

Für die vorliegende Forschungsstudie absolvierten 154 SuS (weiblich: $n = 91$, männlich: $n = 63$) die Unterrichtseinheit „Aktionspotenziale beim Regenwurm“. Pro Versuchsgruppe wurden für diese Studie je 20 Leistungskursschüler und 30 bzw. 34 Grundkurschüler der Qualifikationsstufe 2 (Jahrgangsstufe 12) des Amos Comenius Gymnasiums Bonn Bad Godesberg herangezogen. Die Verteilung von männlichen und weiblichen Versuchspersonen zu den drei Versuchsgruppen war nicht ganz gleich (Realexperiment: 31 weiblich; 19 männlich; Virtuelles Experiment: 32 weiblich; 22 männlich; Kontrollgruppe: 28 weiblich; 22 männlich), dies war durch die Zusammensetzung der Oberstufenkurse und der Fachwahlen der SuS der Jahrgangsstufen bedingt. Das Alter der Lernenden variierte zum Zeitpunkt der Studie zwischen 15 und 19 Jahren ($M = 17,09$; $SD = 0,598$; Realexperiment: $M = 17,12$; $SD = 0,59$; Virtuelles Experiment: $M = 17,24$; $SD = 0,64$; Kontrollgruppe: $M = 16,9$; $SD = 0,51$). Die jeweilige Kursstärke schwankte von $n = 17$ bis $n = 25$ SuS.²² Da sich die SuS relativ kurz vor dem Abitur befanden, war eine Follow-up Studie nicht möglich.

8.3 Erhebungs- und Auswertungsmethoden

In dieser Forschungsarbeit soll herausgefunden werden, ob und wie sich die Unterrichtsform (Realexperiment, Virtuelles Experiment und Arbeitsblätter) auf das Lernen und die Motivation auswirkte und wie Motivation und Lernen sich beeinflussen. Um den Lernerfolg bzw. Lernzuwachs und die Motivation statistisch sinnvoll messen zu können, wurden verschiedene Fragebögen erstellt. Für die Untersuchung der Wissensentwicklung wurden ein Pre- und ein Posttest in Form von Fragebögen eingesetzt. Diese Messinstrumente wurden eigenständig von der Autorin entwickelt.

Der Fragebogen zur Motivation entstammte aus einer anderen Studie (Blumberg, 2008). In dieser Untersuchung wurde er getestet und für valide gehalten (s. Kap. 9.1). Allerdings wurden verschiedene Formulierungen hinsichtlich der Lerngruppe und des neuen Lerngegenstandes angepasst, sodass auch dieser Fragebogen erneut auf seine Skalierung überprüft wurde. Sämtliche Fragebögen (s. Anhang B-1, B-2 & B-5) werden in dem folgenden Kapiteln inhaltlich vorgestellt (s. Kap. 8.3.2 & 8.3.3). Die Skalendokumentation wird im Kap. 9 aufgeführt. Hierbei wird zunächst auf die

²² SuS, die nicht an sämtlichen Phasen der Unterrichtseinheit teilnahmen, wurden nicht in diese Studie aufgenommen.

Skalendokumentation des Pre- / Posttests, die mittels der Rasch-Methode analysiert (s. Kap. 9.3) wurden sowie anschließend auf den Motivationsfragebogen (s. Kap. 9.4) eingegangen.

8.3.1 Personendaten

Zur Pseudonymisierung der Fragebögen wurden aus datenschutzrechtlichen Gründen die Versuchspersonen aufgefordert, eine persönliche Zuordnung bestehend aus den Initialen der Vornamen der Eltern auf alle Fragebögen im zugehörigen Feld zu notieren. Diese Zuordnung diente dazu, dass man den individuellen Lernerfolg bzw. Lernzuwachs messen konnte und diesen mit der jeweiligen gemessenen Motivation vergleichen konnte. Konnten nicht alle drei Fragebögen zueinander zugeordnet werden, wurden diese Fragebögen nicht für die Studie verwendet.

Ferner mussten die SuS ihr Alter, ihr Geschlecht und die Art des Kurses (Leistungskurs (LK) / Grundkurs (GK)), in dem sie das Unterrichtsfach Biologie belegten, angeben.

8.3.2 Fragebögen zur Ermittlung des Lernerfolgs und Lernzuwachses

Um den Erfolg der Unterrichtseinheit „Aktionspotenziale beim Regenwurm“ durch einen Lernzuwachs bezogen auf Fachwissen und inhaltliches Verständnis zu messen, wurden ein Pretest (s. Anhang B-1) und ein Posttest (s. Anhang B-2) erstellt. Diese beiden Fragebögen wurden selbständig entwickelt, da sie so an den Lerngegenstand und auf die Experimentgestaltung adaptiert werden konnten. Bei der Fragebogengestaltung wurden offene Fragen gewählt, da Antworten auf offene Fragen das Fachwissen der SuS differenzierter abbilden als geschlossene Fragen und sie somit eine sehr hohe Aussagekraft besitzen (Schnell et al., 2008). Des Weiteren war es für die SuS eine bekannte und gewohnte Art der Überprüfung von Fachwissen.

Zu Beginn der Unterrichtseinheit mussten die Versuchspersonen einen Pretest ausfüllen, indem ihr Vorwissen überprüft wurde. Zum Abschluss der Einheit erfolgte ein Posttest. Das Ergebnis des Posttests entsprach dem Lernerfolg. Dabei griff der Posttest zum einen Fragen des Pretests auf, um einen direkten Zusammenhang zwischen der Unterrichtseinheit und dem Verständnis der SuS gegenüber den schon bekannten Lerninhalten zu erkennen, als auch um eine Verankerung der Skalierung mittels Rasch (s.

Kap. 9.3) vorzunehmen. Zum anderen beinhaltete der Posttest weiterführende Fragen, um einen Lernzuwachs, der auf die Unterrichtseinheit zurückzuführen war, zu messen.

Sowohl für den Pre- als auch für den Posttest wurde ein erweiterter Erwartungshorizont aufgestellt (s. Anhang B-3 & B-4). Dieser beinhaltete für die jeweilige Frage, die erwartete Leistung und die entsprechende Anzahl von Punkten, die SuS für ihre Leistung erhielten; dabei wurden auch mögliche Alternativantworten der SuS berücksichtigt. Des Weiteren wurden die Fragen dem jeweiligen Anforderungsbereich²³ (AFB I = Reproduktion, AFB II = Reorganisation und Transfer, AFB III = problemlösendes Denken, Bewerten und Beurteilen) zugeordnet. Ferner wurde hier eine kurze Legitimation für die gestellten Fragen eingebaut sowie eine Angabe, an welcher Stelle die SuS zu dem Wissen gelangt sein müssten, um die jeweilige Frage zu beantworten.

Der Fragebogen im Pre- / Posttest-Design überprüfte somit das deklarative Wissen. Zwar wurde in den jeweiligen Unterrichtsformen auch das prozedurale Wissen gefördert, dies wurde jedoch bei dieser Untersuchung nicht analysiert.

8.3.2.1 Pretest

Insgesamt bestand der Pretest aus elf Fragen (s. Anhang B-1). Diese waren offen formuliert und sie überprüften das fachspezifische Vorwissen zur Unterrichtseinheit, welches die SuS in den vorangegangenen Stunden des Biologieunterrichts (Frage 1-4) bzw. aus dem Mittelstufenphysikunterricht (Frage 6 & 7) gelernt und behalten haben könnten. Die Fragen 5 sowie 8 bis 11 waren so aufgebaut, dass zuerst eine geschlossene Frage vorangestellt wurde, die nur mit ja oder nein beantwortet werden konnte. Anschließend hatten die SuS die Möglichkeit, ihr Wissen zur Thematik oder zu dem Fachbegriff auszuführen. Der Fachbegriff Latenz (Frage 9) hätte von den SuS über Alltagswissen bzw. aus vorangegangenen Unterrichtsreihen der Jahrgangsstufe 9 (z.B. Zeitraum von der Ansteckung bis zum Ausbruch einer Krankheit) beantwortet werden können. Die Zustände, die ein spannungsabhängiger Kanal einnehmen kann, hätte mit Hilfe des Fachwissens aus der Einführungsphase der Oberstufe (Jahrgangsstufe 10) zur Thematik Biologie der Zelle – Stofftransport zwischen Kompartimenten (Kernlehrplan NRW, 2014, S. 23) mit Grundwissen erläutert werden können.

²³ im folgenden AFB abgekürzt

Alle Fragen waren operationalisiert und entstammten allen drei AFB. Dabei waren die Aufgaben auf die drei AFB folgendermaßen verteilt: AFB I 26%, AFB II 66% und AFB III 8%.²⁴ Die Verteilung der drei AFB entsprach nicht ganz den Vorgaben zur Erstellung von Klausuren bzw. des Abiturs (Ministerium für Schule und Weiterbildung, 2008), da davon auszugehen war, dass komplexere Fragen ohne ausführlichere Behandlung der Thematik von den SuS nicht beantwortet werden könnten.

Zusätzlich wurde darauf geachtet, dass mit der Gestaltung der Fragen eine gewisse Abwechslung erreicht wurde, um möglichst verschiedenen Lernstrategien gerecht zu werden. So gab es Aufgaben, bei denen z.B. Skizzen erstellt, Zusammenhänge erläutert oder Fachbegriffe aufgezählt werden sollten.

8.3.2.2 Posttest

Der Posttest (s. Anhang B-2) untersuchte mit insgesamt 15 operationalisierten Fragen, in welchem Maße sich die SuS über die Unterrichtseinheit neues Fachwissen angeeignet hatten und in welchem Maße das Verständnis bezogen auf bekannte Lerninhalte vertieft wurde.

Die Fragen 1 bis 3, 8, 11 und 14 waren wortwörtlich identisch zu Fragen des Pretests. Mit Hilfe dieser Fragen konnten über die Rasch-Methode Pre- und Posttest miteinander verankert werden, um eine einheitliche Skala (Measure-Skala) zu bilden (s. Kap. 9.3). Somit ließ sich sowohl der individuelle Lernzuwachs als auch ein Gruppenvergleich der jeweiligen Unterrichtsform (Realexperiment, Virtuelles Experiment, Kontrolle) bezogen auf den Lernzuwachs ermitteln. Die Summe der erzielten Punkte aller Fragen des Posttests diente als Parameter, um den fachliche Lernerfolg der SuS zu messen.

Auch die Fragen des Posttest waren den drei AFB zugeordnet worden und verteilten sich wie folgt auf die drei AFB: AFB I = 34%, AFB II = 50% und AFB III = 16%.²⁵ Dies entspricht der prozentualen Punkteverteilung und Aufgabenstruktur der AFB aus den Vorgaben zur Aufstellung von Klausuren und dem Abitur (Ministerium für Schule und Weiterbildung, 2008).

Im Posttest wurden ebenfalls die Arten der Fragen variiert, so mussten die SuS z.B. ein Diagramm auswerten, verschiedene Messdarstellungen einem selbst gezeichneten extrazellulären Aktionspotenzial zuordnen oder Prozesse erklären.

²⁴ Angaben gerundet

²⁵ Angaben gerundet

8.3.3 Motivationsfragebogen

Der Motivationsfragebogen²⁶ bestand aus 19 Fragen (s. Anhang B-5), die den Kategorien Interesse (N = 5), selbstbestimmte Motivation (N = 6), fremdbestimmte Motivation (N = 4) und Nichtinteresse (N = 4) zugeordnet wurden (s. Anhang B-6). Hierbei kann Nichtinteresse als ergänzende Kategorie zu Interesse angesehen werden, da Nichtinteresse die Interessensgenese verhindert (s. Kap. 2.3.2). Somit würden die Ergebnisse zur Kategorie Interesse, wenn sie konträr zu denen von Nichtinteresse ausfielen, bekräftigt.

Insgesamt waren sämtliche Items geschlossen formuliert und mittels einer vierstufigen Likert-Skala zu beantworten. Dabei standen folgende Antwortmöglichkeiten zur Verfügung: 1 = trifft gar nicht zu, 2 = trifft ein wenig zu, 3 = trifft zu, 4 = trifft genau zu. Für einen Teil der Fragen wurde eine negative Formulierung verwendet, sodass diese für die statistische Auswertung angepasst werden mussten.

Die Reliabilität des in dieser Arbeit genutzten Fragebogens zur Motivation wurde schon in mindestens einer anderen Studie bestimmt (Blumberg, 2008). Da der Fragebogen ursprünglich für die Primarstufe für den Sachunterricht entwickelt wurde, wurden die Items an den Lerngegenstand und den höheren Ausbildungsstand der Testgruppe angepasst.

²⁶ Der Fragebogen entstammt überarbeitet aus: Blumberg, Eva (2008): Multikriteriale Zielerreichung im naturwissenschaftsbezogenen Sachunterricht der Grundschule – Eine Studie zum Einfluss von Strukturierung in schülerorientierten Lehr-Lernumgebungen auf das Erreichen kognitiver, motivationaler und selbstbezogener Zielsetzungen. Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades des Doktors in den Erziehungswissenschaften an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster.

9 Skalendokumentation der Fragebögen

Um die Qualität der Daten dieser Forschungsstudie einzuschätzen, musste zunächst die Qualität der Messinstrumente untersucht werden. Erst bei Messinstrumenten mit einer hohen Gütequalität kann man davon ausgehen, dass die gemessenen Daten aussagekräftig sind.

Zu Anfang werden in diesem Kapitel die Gütekriterien (s. Kap. 9.1) Objektivität, Reliabilität und Validität erklärt und aufgeführt, wie diese in dieser Forschungsstudie angewandt bzw. untersucht wurden. Anschließend wird die Bedeutung der Itemanalyse (s. Kap. 9.2) mit den Unterpunkten Itemschwierigkeit und Trennschärfe erläutert. Darauf folgt die Skalendokumentation des Pre- / Posttests (s. Kap. 9.3). Der Pre- / Posttest wurde mit der Rasch-Methode analysiert (s. Kap. 9.3). Über diese Analyse wurde auch die Itemschwierigkeit für den Pre- / Posttest berechnet. Im Anschluss werden die Ergebnisse der Reliabilitätsprüfung interpretiert. Danach wird die Skalendokumentation des Motivationsfragebogens (s. Kap. 9.4) mit Berechnung der Itemschwierigkeit, der Trennschärfe und der Reliabilität vorgestellt.

9.1 Gütekriterien

Für eine qualitativ hochwertige Untersuchung mussten folgende Gütekriterien beachtet werden: (1) Objektivität, (2) Reliabilität und (3) Validität.

- (1) Unter Objektivität versteht man, ob die erhobenen Daten unabhängig von äußeren Einflüssen (wie z.B. durch die Untersuchungssituation oder durch die / den UntersucherIn) bei Durchführung, Auswertung und Interpretation zustande kommen (Köhler et al., 2002, S. 5). Um eine hohe Durchführungsobjektivität zu erreichen, wurde darauf geachtet, dass die Untersuchungsbedingungen für alle Versuchspersonen möglichst konstant waren. Die Bewertung der Fragebögen erfolgte unabhängig zur Person. Die Fragebögen waren pseudoanonymisiert und die Daten wurden mit Hilfe eines aufgestellten Erwartungshorizonts ausgewertet.
- (2) Die Reliabilität überprüft, ob das untersuchte Merkmal zuverlässig gemessen wird. Bei geringer Reliabilität ist bei der Untersuchung mit einem starken Messfehler zu rechnen (Kubinger, 2006).

Die Reliabilität wurde für die Pre- / Posttestfragebögen mittels der Rasch-Analyse mit dem Computerprogramm Winsteps Version 3.92.1 berechnet. Die Items des Motivationsfragebogens wurden mittels einer Reliabilitätsanalyse mit Hilfe des Statistikprogramms SPSS Version 21 bestimmt.

Für die Skalendokumentation wurde Cronbachs Alpha als Reliabilitätskoeffizient ermittelt. Cronbachs Alpha gilt als Maß für die interne Konsistenz einer Skala. Dabei wird dargestellt, ob die Items einer Skala dasselbe Merkmal betrachten (Cronbach, 1951). In dieser Arbeit wurden sämtliche Items in die Skala aufgenommen, wenn Cronbachs Alpha > 0.7 war (Cronbach, 1951, S. 311). Niedrigere Werte wurden aussortiert.

In den Tabellen der Skalendokumentation zu den Items des Motivationsfragebogens (s. Tab. 9.4.1-5) ist eine Spalte enthalten, die Cronbachs Alpha bei Entfernung des jeweiligen Items anzeigt. Wie man den jeweiligen Tabellen entnehmen kann, ist eine Entfernung eines einzelnen Items jedoch nicht nötig gewesen, da dies keine positiven Auswirkungen auf die Reliabilität gehabt hätte.

- (3) Unter Validität versteht man die Gültigkeit einer Messung (Köhler et al., 2002, S.5). Um eine hohe Validität der Messinstrumente zu gewähren, wurden die Fragebögen von mehreren Fachleuten (zwei Fachlehrern, zwei promovierten Zoologen und zwei Doktoranden (Fachbereich Neurobiologie)) ausgewertet und deren Beantwortung mit dem Erwartungshorizont abgeglichen. Zudem wurde der Fragebogen zur Motivation schon zuvor getestet und für valide gehalten (Blumberg, 2008).

9.2 Itemanalyse

Um die Eignung der Skalen bzw. Items zu überprüfen, wurde zunächst eine Skalendokumentation angefertigt. Dabei wurden Itemanalysen²⁷ durchgeführt, welche sowohl die Itemschwierigkeit (s. Kap. 9.2.1) und als auch die Trennschärfe (r_{it}) (s. Kap. 9.2.2) beinhalteten.

²⁷ Auf die Untersuchung der Normalverteilung wird im Kap. 11 eingegangen.

9.2.1 Itemschwierigkeit

Items können in der Beantwortung unterschiedlich schwer sein (Pre-, Posttest) oder von den Probanden unterschiedliche Zustimmungsraten erhalten (Motivationsfragebogen). Die Itemschwierigkeit gibt an, wie viel Prozent einer Stichprobe die jeweilige Aufgabe richtig lösen oder ihr zustimmen. Je höher dieser Kennwert ausfällt, desto mehr Personen haben dieses Item richtig beantwortet oder es bejaht. Fällt der Schwierigkeitsindex für ein Item sehr hoch (0,8 - 1) oder sehr niedrig (0 – 0,2) aus, konnte das Item entweder von fast allen Versuchspersonen gelöst (bzw. zugestimmt) werden oder von nur sehr wenigen (bzw. abgelehnt). Da die Untersuchungsergebnisse dann zu konform wahren, wahren solche Ergebnisse für qualitative Aussagen unbrauchbar und sollten entfernt werden (Zöfel, 2002).

9.2.2 Trennschärfe

Laut Fisseni (2004) ist die Trennschärfe der wichtigste Itemkennwert; „sie klärt die Position eines Items im Verband der anderen Items, indem sie einen Index liefert, der angibt, wieweit der „Löser“ über alle Items hinweg identisch bleibt“ (Fisseni, 2004, S. 36). Damit kann eingeschätzt werden, wie gut ein Item mit dem Gesamtergebnis eines Testes korreliert. Die Werte können dabei zwischen -1 und 1 liegen. Je näher sich der Trennschärfekoeffizient an diesen Grenzen befindet, desto mehr erfasst das Item ein ähnliches Merkmal wie der Gesamttest. Liegt der Trennschärfekoeffizient um 0, so unterscheidet sich das Merkmal deutlich vom Gesamttest (Fisseni, 2004).

In dieser Arbeit wurden die korrigierten Trennschärfekoeffizienten errechnet. Dabei sollten die Werte mindestens unter -0,3 bzw. über 0,3 liegen. Bei abweichenden Werten sollte eine Itemselektion stattfinden (Fisseni, 2004). Eine hohe Trennschärfe kann als positives Merkmal eines Items gezählt werden. Dies gilt allerdings nur für den Fragebogen zur Motivation, da im Rasch-Modell von einer einheitlichen Trennschärfe ausgegangen wird (Utikal & Vogel, 2009, S. 17).

9.3 Skalen- und Itemanalyse des Pre- / Posttests

9.3.1 Rasch-Analyse des Pre- / Posttests

Die Rasch-Analyse wurde verwendet, um die Itemrohwerte des Pre- und des Posttests zu aussagekräftigeren intervallskalierte Daten (Measure-Werte) umzuwandeln. Da identische Fragen im Pre- und im Posttest vorkamen, konnten diese Fragen als Verankerung für eine einheitliche Messskala verwendet werden. Dadurch wurde ein direkter Vergleich der Itemschwierigkeit als auch der unterschiedlichen Datensätze möglich.

Um die Rohwerte des Pre- und Posttests in Measure-Werte umzuwandeln, musste zuerst eine Measure-Skala kreiert werden. Dafür wurde eine mehrstufige Rasch-Analyse durchgeführt. Zuerst wurden alle Daten analysiert und der Mean Square²⁸ OUTFIT jedes einzelnen Items überprüft. Der MNSQ OUTFIT ist ein Wert der Validität der Rasch-Analyse. Dieser misst, wie gut ein Item zwischen fähigen und weniger fähigen Personen unterscheidet. Liegt der erwartete Wert bei 1, überprüft das Item die Fähigkeit der Person perfekt. Gute MNSQ OUTFIT Werte befinden sich im Bereich von 0,7 und 1,3 (Smith, 2004). Abweichende Werte kennzeichnen ein ungewünschtes Itemverhalten, dass z.B. ein leichtes Item von Personen, die sonst Items mit dieser Schwierigkeit gut lösen können, an diesem Item scheitern. Ein schlechter MNSQ-Wert zeigt also an, dass dieses Item nicht die Fähigkeit misst, die die anderen Items des Fragebogens messen (Boone et al., 2014).

Bei den untersuchten Daten wies lediglich ein einziges Item einen größeren MNSQ-Wert als 1,3 auf (Post 13). Deshalb wurden alle Antworten der SuS zu dieser Frage untersucht. Insgesamt erreichten hierbei fünf der 154 SuS (267, 277, 287, 297, 307) unerwartet hohe Werte im Vergleich zu ihren übrigen Antworten. Es wurde nun eine weitere Rasch-Analyse erstellt, bei der die Werte dieser SuS für die Kalibrierung der Itemschwierigkeit nicht mit eingerechnet wurden. Die Werte der SuS wurden dennoch berechnet. Im Anschluss an diesen Schritt war der MNSQ-Wert bei 1,00; dies entspricht auch dem Durchschnitt aller Items (s. Tab. 9.3.1.1).

²⁸ im folgenden MNSQ abgekürzt

Tabelle 9.3.1.1

Measure-Skala der Pre- und Posttestfragen mit MNSQ OUTFIT

Item	Measure	MNSQ OUTFIT
Pre5Post4	,82	,71
Pre9	,77	,79
Pre11	,61	1,00
Post13	,58	1,00
Post10	,34	1,28
Post7	,26	1,02
Post9	,24	1,17
Pre4Post11	,16	1,04
Pre10	,12	1,06
Post15	,06	,96
Pre7	,04	1,17
Post6	-,08	,78
Post5	-,17	,70
Pre6Post8	-,23	1,13
Post12	-,51	,87
Pre3Post3	-,83	1,27
Pre1Post1	-1,06	,89
Pre2Post2	-1,11	1,07
Durchschnitt	,00	1,00

Anmerkung. Die Zahl bei Pre bzw. Post entsprach dem jeweiligen Item des Pre- bzw. Posttest; Pre(Zahl)Post(Zahl) steht für ein Item, dass in beiden Tests vorkam. Pre8 und Post14 wurden aufgrund der schlechten Itemschwierigkeit herausgenommen (s. Kap. 9.3.2).

9.3.2 Itemschwierigkeit des Pre- / Posttests

Durch die einheitliche Skalierung wurde die Itemschwierigkeit sämtlicher Items des Pre- und des Posttests in Measure-Werten ($-4 < x < 4$) festgelegt. Es entstand damit eine Schwierigkeitsrangfolge der Pre- und Posttestfragen (s. Abb. 9.3.2.1). Fast alle Fragen besaßen mittlere Itemschwierigkeit und konnten somit gut verwendet werden. Lediglich

die Items Pre8 und Post14 waren nicht in dieser Itemschwierigkeitskarte auffindbar, da Pre8 von keinem SuS und Post14 von zu vielen beantwortet wurden. Somit war die Itemschwierigkeit zu groß bzw. zu niedrig. Dementsprechend wurde mit diesen beiden Items nicht gearbeitet.

Der Measure-Wert der SuS besagte, dass die Items bis zu dem jeweiligen Schwierigkeitsgrad wahrscheinlich gelöst würden (s. Abb. 9.3.2.1) (Boone, Staver, Yale, 2014).

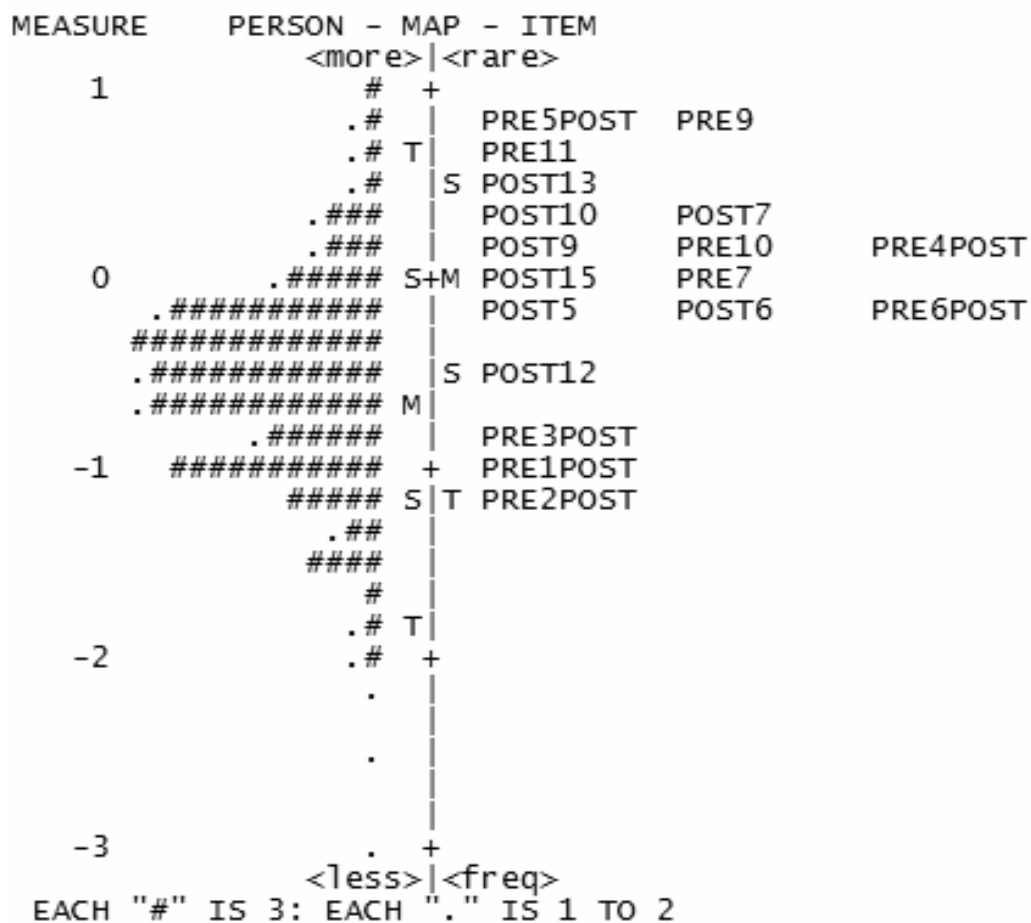


Abbildung 9.3.2.1. Itemschwierigkeit des Pre- / Posttests. Personenfähigkeit und Itemschwierigkeit werden auf einer gemeinsamen Intervallskala angeordnet. Jedes „#“ bedeutet drei Personen, jeder „.“ ein bis zwei Personen; M = Mittelwert, S = Standardabweichung, T = zwei Standardabweichungen, befinden sich die Abkürzungen links, gelten sie für die Personenfähigkeit, rechts für die Itemschwierigkeit.

9.3.3 Reliabilität des Pre- / Posttests

Die ermittelten Reliabilitäten der Rasch-Analyse waren die Person-Reliabilität mit einem Wert von 0,78 und die Item-Reliabilität der Pre- / Posttestfragen mit 0,98. Cronbachs Alpha betrug 0,84. Somit sind die Werte für die Reliabilität beim Pre- / Posttest ebenfalls mehr als zufriedenstellend ausgefallen (s. Anhang D, Tab. 9.3.3.1).

9.4 Skalen- und Itemanalyse des Motivationsfragebogen

Der Motivationstest wurde, um möglichst unverfälschte Daten zu erhalten, direkt im Anschluss an die Unterrichtseinheit durchgeführt. Im Folgenden werden die Skalen des Motivationsfragebogens aufgeführt (s. Tab. 9.4.1.1-9.4.1.5). Für jede Untersuchungskategorie zur Motivation wurde eine Tabelle nach dem in Tab. 9.4.1 vorgestellten Beispiel angelegt.

Tabelle 9.4.1

Skalendokumentation (Beispiel)

Item	M	SD	$r_{it,corr}$	a	N
Item1	M1	SD1	r1	a1	N von Item1
Item2
Skala:	M:	SD:	Cronbachs Alpha:	N:	Items:

Anmerkung. Abkürzungen: M = arithmetischer Mittelwert (oben: des jeweiligen Items, unten: der Skala); SD = Standardabweichung (oben: des jeweiligen Items, unten: der Skala); $r_{it,corr}$ = korrigierte Trennschärfe; a = Cronbachs Alpha für den Faktor, wenn das Item entfernt wird; N = Stichprobengröße; Items = Anzahl der Items, die in die Skala aufgenommen werden.

Tabelle 9.4.2

Skalendokumentation der Erhebung Interesse

Item	M	SD	$r_{it,corr}$	a	N
InteresseM1	2,69	,771	,677	,797	154
InteresseM4	2,44	,722	,683	,798	154
InteresseM5	2,18	,864	,571	,824	154
InteresseM16	2,29	,976	,586	,826	154
InteresseM18	2,71	,855	,723	,781	154
Skala: ²⁹	M: 2,460	SD: 0,843	Cronbachs Alpha: 0,838	N:154	Items: 5

Anmerkung.

- InteresseM1: Mir hat die Unterrichtseinheit sehr viel Spaß gemacht.
 InteresseM4: Ich fand das Thema dieser Unterrichtseinheit spannend.
 InteresseM5: Ich habe anderen von dieser Unterrichtseinheit erzählt.
 InteresseM16: Ich bin neugierig gewesen, was als nächstes kommen würde.
 InteresseM18: Ich habe über das Thema der Unterrichtseinheit nach der Schule nachgedacht.

Tabelle 9.4.3

Skalendokumentation der Erhebung Nichtinteresse

Item	M	SD	$r_{it,corr}$	a	N
NichtinteresseM2	1,62	,637	,677	,728	154
NichtinteresseM6	1,47	,659	,683	,720	154
NichtinteresseM8	1,32	,625	,571	,683	154
NichtinteresseM14	1,48	,649	,586	,621	154
Skala: ³⁰	M: 1,476	SD: 0,642	Cronbachs Alpha: 0,849	N:154	Items: 4

Anmerkung.

- NichtinteresseM2: Ich hatte keine Lust auf diese Unterrichtseinheit.
 NichtinteresseM6: Das Thema dieser Unterrichtseinheit war langweilig.
 NichtinteresseM8: Am liebsten hätte ich nicht an dieser Unterrichtseinheit teilgenommen.
 NichtinteresseM14: Das Thema dieser Unterrichtseinheit interessierte mich nicht.

²⁹ Die Daten sind nicht normalverteilt (Kolmogorov-Smirnov mit Signifikanzkorrektur nach Lilliefors: Signifikanz: 0,000; df: 154; Shapiro-Wilk: Signifikanz: 0,000; df: 154).

³⁰ Die Daten sind nicht normalverteilt (Kolmogorov-Smirnov mit Signifikanzkorrektur nach Lilliefors: Signifikanz: 0,000; df: 154; Shapiro-Wilk: Signifikanz: 0,000; df: 154).

Tabelle 9.4.4

Skalendokumentation der Erhebung selbstbestimmten Motivation

Item	M	SD	$r_{it,corr}$	a	N
SelbstM3	2,93	,696	,542	,764	154
SelbstM10	2,64	,854	,621	,736	154
SelbstM11	2,72	,828	,679	,717	154
SelbstM13	2,93	,715	,738	,792	154
SelbstM15	2,73	,759	,487	,779	154
SelbstM19	2,49	,909	,544	,765	154
Skala: ³¹	M: 2,739	SD: 0,797	Cronbachs Alpha: 0,840		N:154 Items: 6

Anmerkung.

- SelbstM3: Ich habe mich bei dieser Unterrichtseinheit angestrengt, weil es mir wichtig ist, dass ich Fragen zu diesem Thema beantworten kann.
- SelbstM10: Ich habe mich bei dieser Unterrichtseinheit angestrengt, weil ich viel zu diesem neurobiologischen Thema wissen wollte.
- SelbstM11: Ich habe bei dieser Unterrichtseinheit gut mitgemacht, um zu erfahren, ob das, was ich mir gedacht habe, richtig war.
- SelbstM13: Ich habe mich bei dieser Unterrichtseinheit angestrengt, um mehr über Neurobiologie zu erfahren.
- SelbstM15: Ich habe mich bei dieser Unterrichtseinheit angestrengt, weil es mir Spaß gemacht hat.
- SelbstM19: Ich habe mich bei dieser Unterrichtseinheit angestrengt, weil ich gerne Themen verstehe.

Tabelle 9.4.5

Skalendokumentation der Erhebung fremdbestimmten Motivation

Item	M	SD	$r_{it,corr}$	a	N
FremdM7	1,21	,583	,194	,354	154
FremdM9	1,25	,555	,133	,402	154
FremdM12	2,21	,845	,323	,190	154
FremdM17	2,40	,875	,228	,324	154
Skala: ³²	M:1,769	SD: 0,729	Cronbachs Alpha: 0,396		N:154 Items: 4

³¹ Die Daten sind nicht normalverteilt (Kolmogorov-Smirnov mit Signifikanzkorrektur nach Lilliefors: Signifikanz: 0,000; df: 154; Shapiro-Wilk: Signifikanz: 0,000; df: 154).

³² Die Daten sind nicht normalverteilt (Kolmogorov-Smirnov mit Signifikanzkorrektur nach Lilliefors: Signifikanz: 0,000; df: 154; Shapiro-Wilk: Signifikanz: 0,000; df: 154).

Anmerkung.

- FremdM7: Ich habe mich bei dieser Unterrichtseinheit angestrengt, um bei anderen in der Klasse einen guten Eindruck zu hinterlassen.
- FremdM9: Ich habe mich bei dieser Unterrichtseinheit angestrengt, um eine gute Note zu kriegen.
- FremdM12: Ich habe mich bei dieser Unterrichtseinheit angestrengt, damit sich meine Eltern über mich freuen.
- FremdM17: Ich habe mich bei dieser Unterrichtseinheit angestrengt, um bei meinem/r Lehrer/in einen guten Eindruck zu hinterlassen.

Itemschwierigkeit beim Motivationsfragebogen

Die Itemschwierigkeit entspricht dem Mittelwert der Einzelitems (s. Tab. 9.4.2-5). Bezogen auf den Motivationsfragebogen, bei dem die Items mittels einer vierstufige Likert-Skala beantwortet wurde, sollte die Itemschwierigkeit im Bereich von 1,6 bis 3,4 liegen (Likert, 1932). Lediglich die Itemschwierigkeit für das Nichtinteresse fiel mit 1,476 aus diesem Normbereich. In Anbetracht der Tatsache dass es sich in dieser Forschungsarbeit bezogen auf die Items des Motivationstest nicht um Wissensitems sondern um Interessens- und Selbsteinschätzungsitems handelte, wurde diesbezüglich die Itemschwierigkeit nicht als selektierendes Kriterium angewendet.

Trennschärfe der Kategorien zur Motivation

Wie man der vorangegangenen Skalendokumentation entnehmen kann (s. Tab. 9.4.2-5), sind die ermittelten Trennschärfen fast alle als gut zu bezeichnen. Für die Items von Interesse, Nichtinteresse und selbstbestimmte Motivation schwanken die Trennschärfenkoeffizienten von ca. 0,5 bis 0,8 und liegen somit deutlich über 0,3. Die Trennschärfekoeffizienten für die Items zur fremdbestimmten Motivation lagen jedoch unterhalb dieses Wertes und sind somit als schlecht einzustufen.

Reliabilität der Kategorien zur Motivation

Im Zuge der Reliabilitätsanalysen konnten für fast alle Kategorien gute Werte ermittelt werden (s. Tab. 9.4.2-5). Insgesamt wurden keine einzelnen Items zur Verbesserung der Reliabilität ausgeschlossen. Für die Kategorie Interesse konnte ein Cronbachs α von 0,838 ermittelt werden. Die untersuchten Items zum Nichtinteresse ergaben ein Cronbachs α von 0,849. Bei der Kategorie selbstbestimmte Motivation entsprach der Wert mit allen Items

einem Cronbachs α von 0,840. Lediglich für die Items zur fremdbestimmten Motivation war der berechnete Wert mit einem Cronbachs α von 0,396 inakzeptabel. Auch der Ausschluss eines Items würde diesen Wert nicht ausreichend verbessern. Aufgrund dieser schlechten Reliabilität und der schlechten Trennschärfe wurden die Daten zur fremdbestimmten Motivation in dieser Studie nicht weiter untersucht.

10 Darstellung und statistische Auswertung der Ergebnisse

Für die deskriptive und analytische Bearbeitung der erhobenen Daten wurde mit dem Statistikprogramm SPSS Version 21 gearbeitet.³³ Des Weiteren wurden die Rohdaten des Pre- und des Posttests mit einer Rasch-Analyse kalibriert. Hierzu wurde das Programm Winsteps Version 3.92.1 verwendet.

Die Datenanalyse bezog sich auf die Untersuchung des Vorwissens (Pretest), den Lernerfolg (Posttest), auf den Lernzuwachs (Differenz der Measure-Werte von Post- und Pretest), auf die untersuchten Motivationsarten (Interesse, Nichtinteresse und selbstbestimmte Motivation) sowie auf die Korrelation dieser Motivationsarten und der Lernergebnisse und einer Regressionsanalyse beim Pre- und beim Posttest sowie beim Pretest und beim Lernzuwachs. Um die Daten zu beurteilen, wurden folgende statistische Richtwerte verwendet (s. Tab. 10.1 & 10.2).

Tabelle 10.1

Signifikanzniveau (p) (Bortz 1993, S. 110)

Signifikanz	Signifikanzniveau (p)	Symbol
nicht signifikant	$p > 0,05$	n.s.
signifikant	$p \leq 0,05$	*
sehr signifikant	$p \leq 0,01$	**
höchst signifikant	$p \leq 0,001$	***

Tabelle 10.2

Korrelationskoeffizient- und Effektstärken (Cohen 1988, S. 82)

Effekt	r	R ²
unbedeutend	$r < 0,1$	$R^2 < 0,01$
gering	$r < 0,3$	$R^2 < 0,09$
mittel	$r < 0,5$	$R^2 < 0,25$
groß	$r > 0,5$	$R^2 > 0,25$

Anmerkung. r: Bravais-Pearson-Korrelation; R²: Bestimmtheitsmaß;

³³ Die in die Auswertung eingegangenen Rohdaten sind im Anhang C einzusehen.

Für eine bessere Übersichtlichkeit wurden die Ergebnisse der verschiedenen Gruppen bei Tabellen nummeriert und in Diagrammen mit unterschiedlichen Farben gekennzeichnet (s. Tab. 10.3).

Tabelle 10.3

Nummerierung und Farbzuzuweisung in den Diagrammen

Versuchsgruppe	Nummer	Farbe
Realexperiment	1	dunkelblau
Virt. Experiment	2	blau
Kontrollgruppe	3	hellblau

(bei Korrelationen grau)

Teilweise wurden die Ergebnisse als Boxplots dargestellt, dabei repräsentiert die Box den Bereich der 50% mittleren Werte; dies sind dementsprechend die Werte zwischen dem 25%- und dem 75%-Perzentil. Das 50%-Perzentil, also der Median werden als schwarzer Strich innerhalb der Box dargestellt. Das X innerhalb der Box stellt den Mittelwert dar. Die Whiskers kennzeichnen den größten bzw. kleinsten Wert, der nicht als Ausreißer definiert wurde. Ausreißer sind Werte, deren Abstand vom 25%-Perzentil nach unten bzw. vom 75%-Perzentil nach oben zwischen dem 1,5fachen und dem 3fachen der Boxhöhe liegt. Sie werden als kleine Kreise dargestellt. Extreme Werte sind Werte, deren Abstand von dem 25%- oder dem 75%-Perzentil mehr als das Dreifache der Boxhöhe beträgt. Sie werden in Form kleiner Sternchen angezeigt. Die Zahl, die neben den kleinen Kreisen und Sternchen steht, entspricht der Zuordnungsnummer des jeweiligen Probanden.

10.1 Ermittlung des Testverfahrens für den Pretest

Der Pretest hatte das Vorwissen der SuS ermittelt. Für die Werte der gesamten Stichprobe galt: $N = 154$; $\bar{x}_{Pre} = -0,96$ und $SD_{Pre} = 0,04$.

Um herauszufinden, mit welchem Testverfahren gerechnet werden musste, mussten zunächst die Voraussetzungen der Stichprobe des Pretests über die Verwendung der einfaktoriellen ANOVA überprüft werden.

1. Die Stichproben sind voneinander unabhängig.
2. Das untersuchte Merkmal ist intervallskaliert.
3. Die Stichproben liegen normal verteilt vor.
4. Die Varianzen der Stichproben sind homogen.

(Ruhdolf & Kuhlisch, 2008)

Zu 1: Die Stichproben waren voneinander unabhängig, da unterschiedliche Oberstufenkurse für diese Untersuchung herangezogen wurden.

Zu 2: Da die Aufgaben verschieden bepunktet wurde, konnten die SuS je nach Lösungsqualität unterschiedlich viele Punkte erhalten. Mit Hilfe der Umwandlung durch die Rasch-Skalierung wurden die Measure-Werte vergleichbar, sodass das untersuchte Merkmal intervallskaliert vorlag.

Zu 3: Da die Stichproben pro Versuchsgruppe bei 50 bzw. 54 Datensätzen lagen, wurden zur Überprüfung der Normalverteilung sowohl der Kolmogorov-Smirnov- als auch der Shapiro-Wilk-Test verwendet. Wie in Tab. 10.1.1 und Abb. 10.1.1 zu erkennen ist, lagen die Ergebnisse des Pretests nicht normal verteilt vor.

Tabelle 10.1.1

Test auf Normalverteilung des Pretests

	Versuchs- gruppe	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Pretest	1	,108	50	,197	,955	50	,056
	2	,136	54	,014	,921	54	,002
	3	,127	50	,042	,974	50	,323

Anmerkung. a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

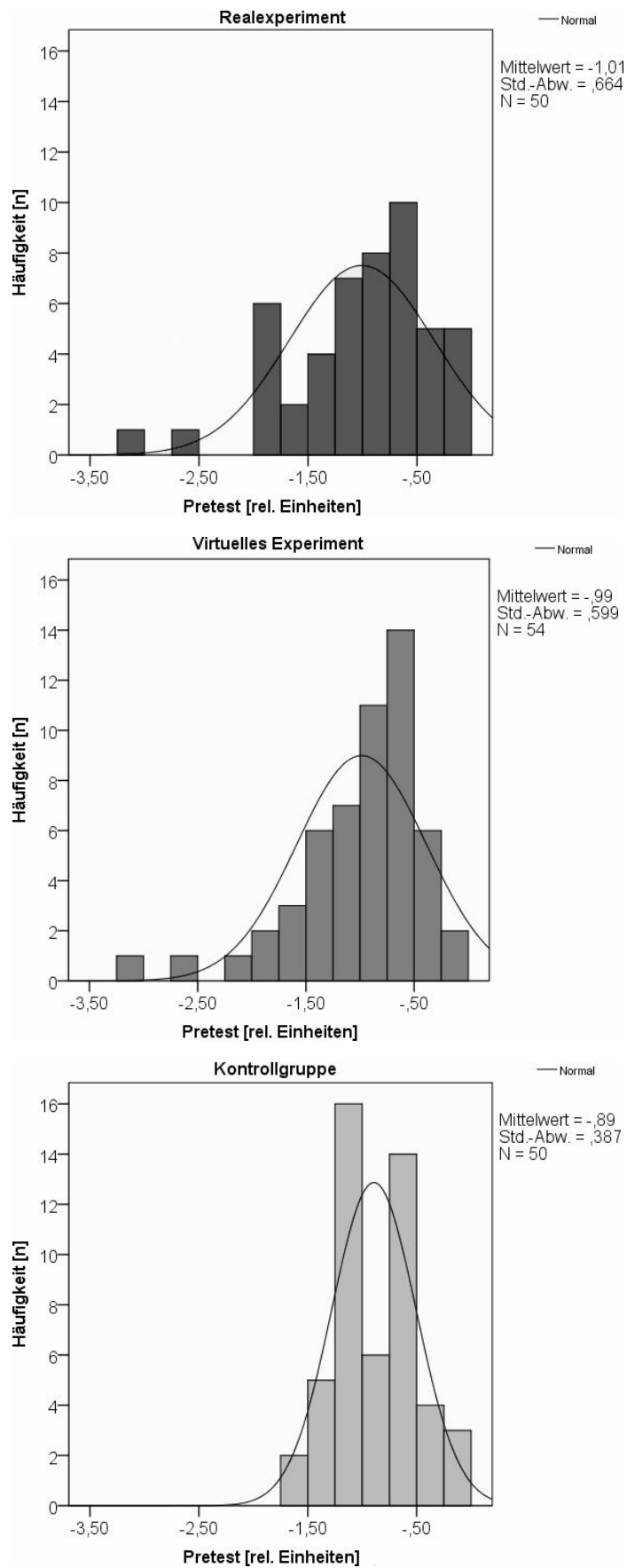


Abbildung 10.1.1. Häufigkeitsverteilung der Ergebnisse des Pretests (von oben nach unten: Realexperiment, Virtuelles Experiment, Kontrollgruppe).

Somit wurden die Voraussetzungen für die Verwendung einer einfaktoriellen ANOVA nicht erfüllt. Folglich wurde für die Auswertung des Pretests der Kruskal-Wallis-Test verwendet (Keller, 2012) (s. Kap. 12.1).

10.2 Ermittlung des Testverfahrens für den Posttest

Entsprechend wie zuvor beim Pretest wurde für den Posttest das Testverfahren durch die Überprüfung der Voraussetzungen der zu untersuchenden Stichprobe für eine einfaktorielle ANOVA ermittelt (s. Kap. 10.1). Für die Gesamtstichprobe galten folgende deskriptive Werte: $N = 154$; $\bar{x}_{Post} = -0,227$ und $SD_{Post} = 0,474$.

Bei der Überprüfung der Voraussetzungen zeigte sich auch hierbei, dass nach dem Kolmogorov-Smirnov-Test und dem Shapiro-Wilk-Test nicht bei allen Gruppen eine Normalverteilung vorlag (s. Tab. 10.2.1). An den Histogrammen zur Häufigkeitsverteilung wurde die Abweichung bei den Ergebnissen der Kontrollgruppe ersichtlich (s. Abb. 10.2.1). Folglich wurde für die Auswertung des Posttests ebenfalls der Kruskal-Wallis-Test angewandt (Keller, 2012).

Tabelle 10.2.1

Test auf Normalverteilung des Posttests

	Versuchs- gruppe	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
	1	,090	50	,200*	,975	50	,373
Posttest	2	,082	54	,200*	,983	54	,645
	3	,205	50	,000	,898	50	,000

Anmerkung. a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors;

*. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.

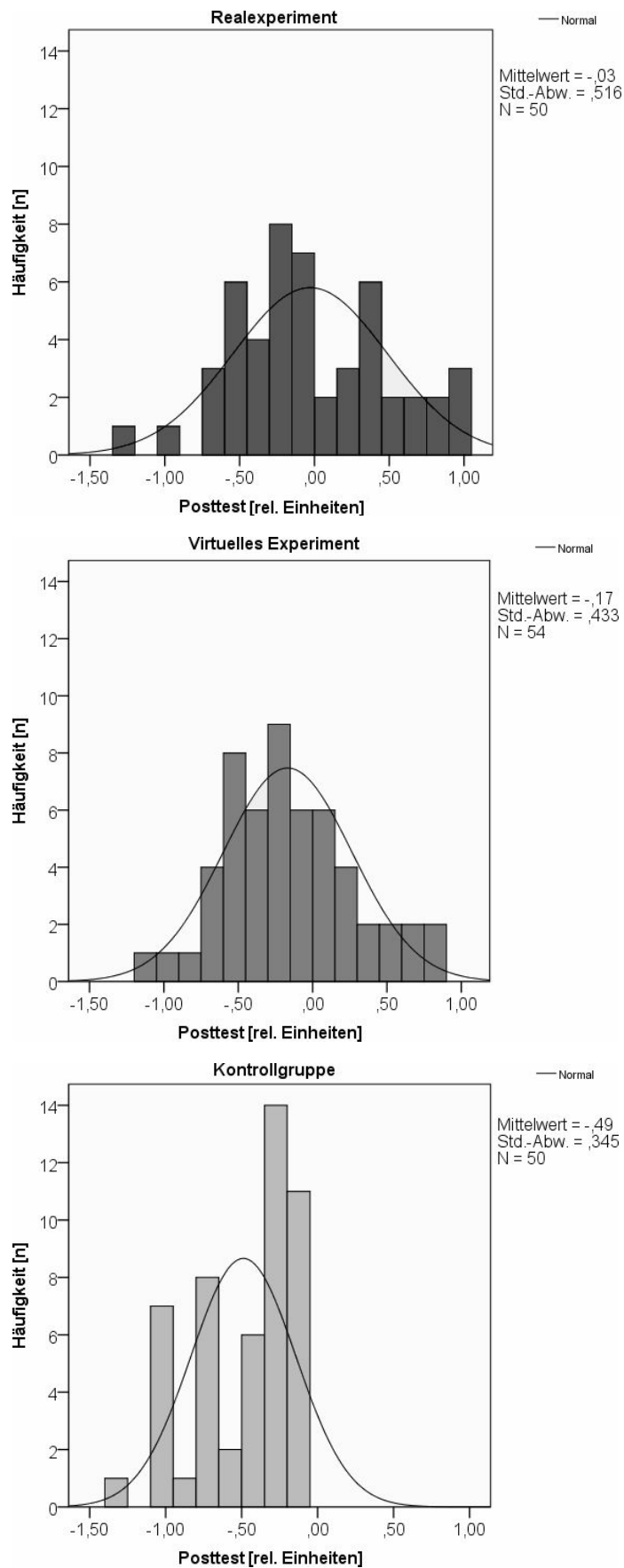


Abbildung 10.2.1. Häufigkeitsverteilung der Ergebnisse des Posttests (von oben nach unten: Realexperiment, Virtuelles Experiment, 3 Kontrollgruppe).

10.3 Ermittlung des Testverfahrens für den Lernzuwachs

Um einen Lernzuwachs zu messen, gab es einige Fragen, die sowohl im Pretest als auch im Posttest auftauchten. Dies diente zu Verankerung einer einheitlichen Measure-Skala nach Rasch. Die Differenz zwischen dem Measure-Wert des Pretests und dem Measure-Wert des Posttests ist der Lernzuwachs. Für die Gesamtstichprobe galt: $N = 154$; $\bar{x}_{\Delta L} = -0,736$ und $SD_{\Delta L} = 0,615$.

Zur Bestimmung des Testverfahrens wurden wie zuvor die Voraussetzungen für die zu untersuchende Stichprobe für eine einfaktorielle ANOVA überprüft (s. Kap. 10.1). Wie man in der Tab. 10.3.1 erkennen konnte, lag die Stichprobe erneut nicht normalverteilt vor. Noch anschaulicher wurde dies in den Histogrammen (s. Abb. 10.3.1). Folglich wurde für die Ermittlung dieser Ergebnisse der Kruskal-Wallis-Test verwendet.

Tabelle 10.3.1

Test auf Normalverteilung beim Lernzuwachs

	Versuchs- gruppe	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Lernzuwachs	1	,138	50	,019	,973	50	,315
	2	,110	54	,151	,959	54	,060
	3	,105	50	,200*	,966	50	,156

Anmerkung. a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors;

*. Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz.

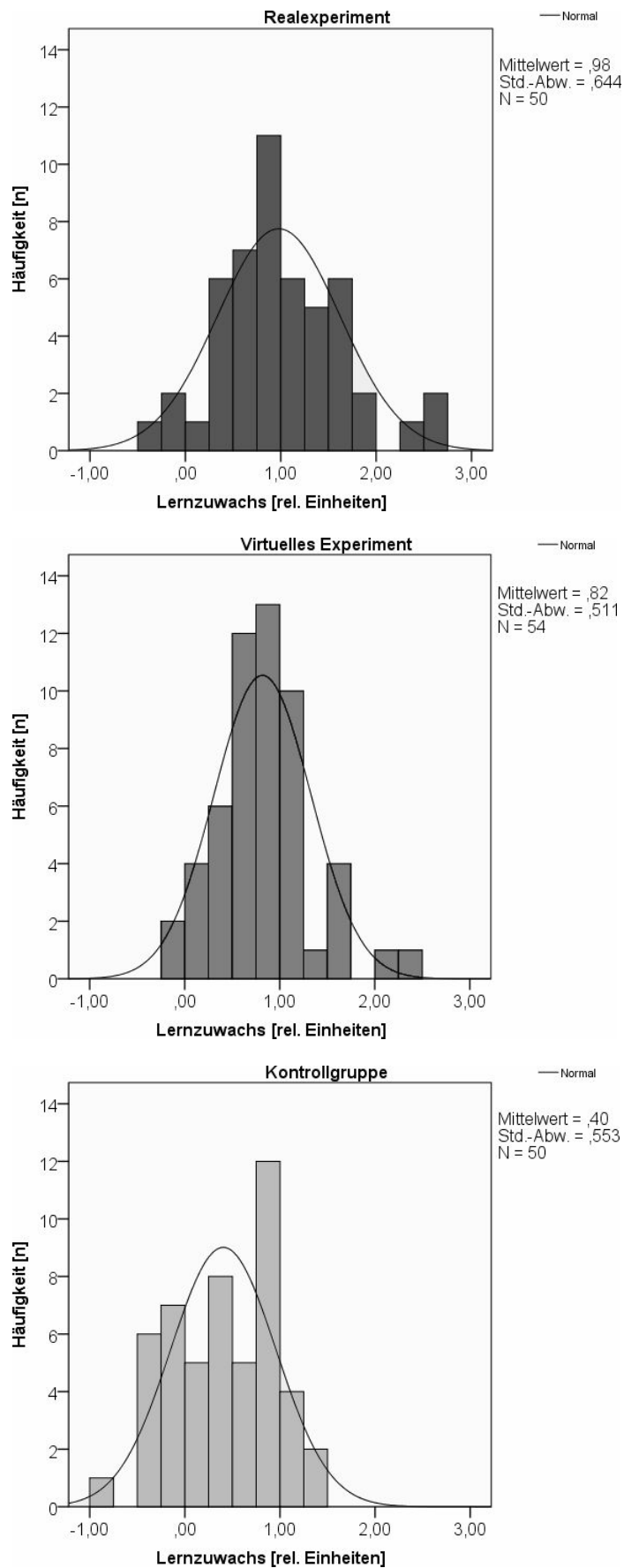


Abbildung 10.3.1. Häufigkeitsverteilung der Ergebnisse des Lernzuwachses (von oben nach unten: Realexperiment, Virtuelles Experiment, Kontrollgruppe).

10.4 Ermittlung des Testverfahrens für die Motivation

Die Items des Fragebogens für die Motivation waren Likert-skaliert. Demzufolge waren die Ergebnisse ordinalskalierte Werte. Des Weiteren handelt es sich um unabhängige Stichproben, da die Daten mit unterschiedlichen Kursen erhoben wurden. Folglich wurde für diese Auswertungen der Kruskal-Wallis-Test verwendet (Kruskal-Wallis-Test, Universität Zürich³⁴, 2010).

10.5 Auswertungsverfahren der Korrelationen

Die aufgestellten Korrelationen stellten einen statistischen Zusammenhang zwischen zwei Merkmalen dar. Dabei wurde die Stärke des Zusammenhanges mit dem Bravais-Pearson Korrelationskoeffizienten r angegeben, der zwischen -1 und $+1$ liegt. Je größer der Wert des Korrelationskoeffizienten war, desto größer war die untersuchte Effektstärke. Hierzu wurde ergänzend auch das Bestimmtheitsmaß R^2 mit angegeben. Des Weiteren wurde der Zusammenhang mit einer Regressionsgeraden visuell dargestellt.

Da die Daten nicht normalverteilt vorlagen, wurden diese über eine Spearman-Korrelation ausgewertet. Des Weiteren wurden die Hypothesen einseitig getestet, da von einem positiven bzw. negativen Zusammenhang ausgegangen wurde (Korrelation, Universität Zürich, 2010).

10.6 Auswertungsverfahren der Regressionsanalysen

Mit Hilfe der linearen Regressionsanalyse sollte herausgefunden werden, wie sich das Vorwissen auf den Lernerfolg (s. Kap. 10.6.1) bzw. den Lernzuwachs (s. Kap. 10.6.2) auswirkt. Da man hier von einer Kausalität ausgehen konnte, sollte nicht wie zuvor eine Korrelations- sondern eine einfache lineare Regressionsanalyse durchgeführt werden.

Bei der ersten Regressionsanalyse wurde davon ausgegangen, dass das Vorwissen (Pretest) die Ergebnisse des Lernerfolgs (Posttest) positiv beeinflussen. Je höher die Ergebnisse des Pretests, desto höher fallen die Ergebnisse des Posttests aus (s. Kap.5). In der zweiten Regressionsanalyse sollte der Einfluss des Pretestes auf den Lernzuwachs ermittelt werden. Dabei wurde ebenfalls ein positiver Zusammenhang vermutet: Je höher

³⁴ sämtliche Zitate zur Statistik der Universität Zürich entstammen aus: <http://www.methodenberatung.uzh.ch>

die Ergebnisse des Pretestes ausfallen würden, desto größer würde der Lernzuwachs sein (s. Kap. 5).

10.6.1 Überprüfung der Modellprämissen für die Regressionsanalyse Pre- / Posttest

Vor der linearen Regressionsanalyse mussten folgende Modellprämissen überprüft werden:

1. Linearität
2. Normalverteilung der Residuen
3. Homoskedastizität
4. Unabhängigkeit der Residuen untereinander (\neq Autokorrelation)

(Einfache lineare Regression, Universität Zürich, 2010; Ruhdolf & Kuhlisch, 2008)

Zu 1: Anhand des Streudiagramms in Abb. 10.6.1.1 zeigten die Daten keine lineare Verteilung (s. Abb. 10.6.1.1).

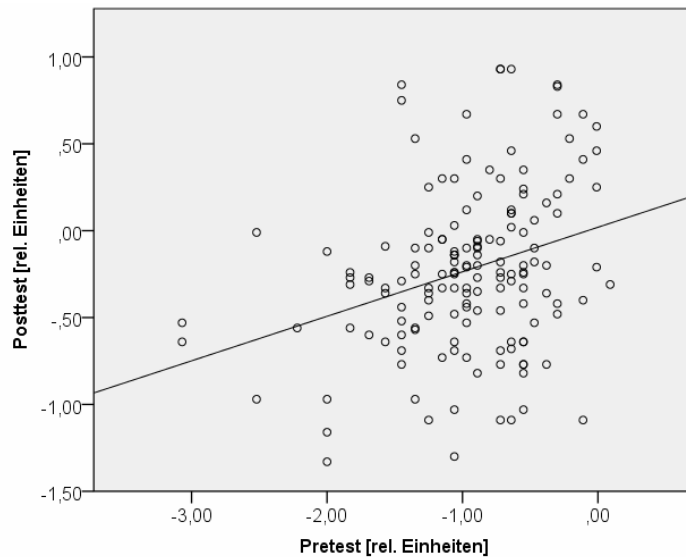


Abbildung 10.6.1.1. Streudiagramm der korrelierten Daten von Pre- und Posttest.

Aufgrund der Verletzung der ersten Modellprämisse, wurden die anderen Voraussetzungen nicht weiter überprüft und eine Korrelationsanalyse wurde durchgeführt.

10.6.2 Überprüfung der Modellprämissen für die Regressionsanalyse Pretest /

Lernzuwachs

Auch für die zweite Regressionsanalyse mussten zuerst die Modellprämissen überprüft werden. Es galten die gleichen Voraussetzungen zu erfüllen wie in Kap. 10.6.1 (1. Linearität, 2. Normalverteilung der Residuen, 3. Homoskedastizität und 4. Unabhängigkeit der Residuen untereinander).

Zu 1: Wie man an der Abbildung 10.6.2.1 erkennen konnte, ließ sich eine Linearität feststellen.

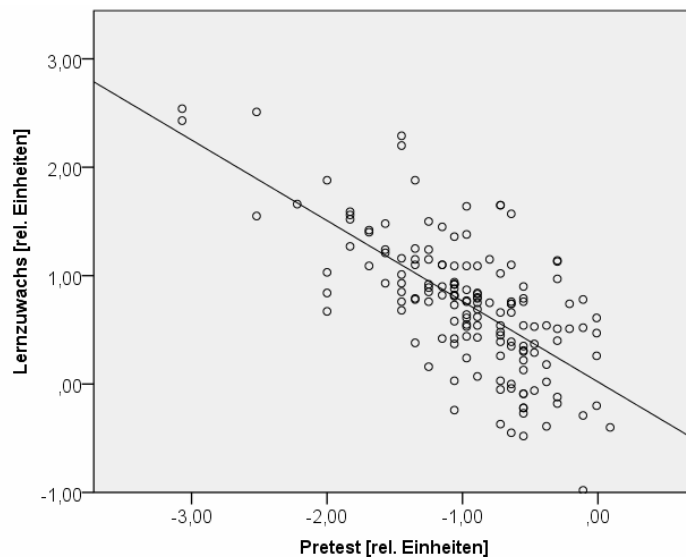


Abbildung 10.6.2.1. Streudiagramm der korrelierten Daten von Pretest und Lernzuwachs.

Zu 2: Die Residuen waren für die zweite Regressionsanalyse normal verteilt (s. Abb. 10.6.2.2).

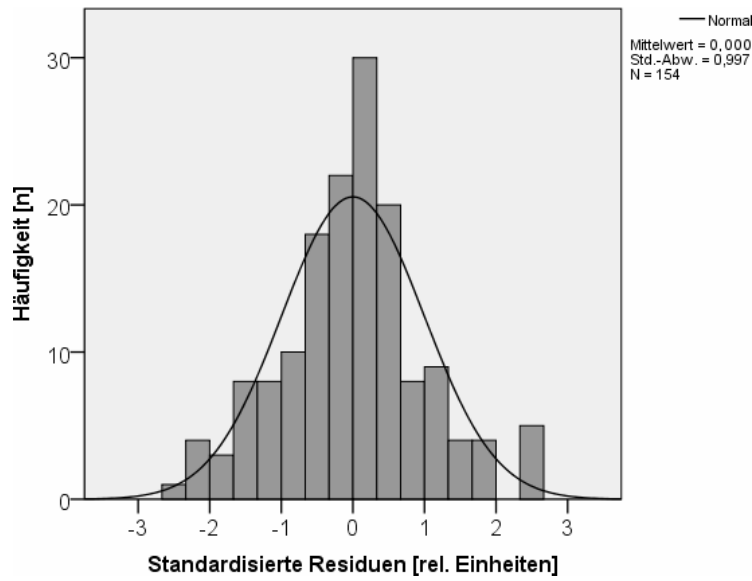


Abbildung 10.6.2.2. Häufigkeitsverteilung der standardisierten Residuen der Regressionsanalyse Pretest / Lernzuwachs.

Zu 3: Um Heteroskedastizität auszuschließen, wurde eine visuelle Kontrolle durch das Streubild der standardisierten geschätzten Residuenwerte gegenüber den standardisierten Residuen durchgeführt. Das Streudiagramm (s. Abb. 10.6.2.3) deutete auf Homoskedastizität hin.

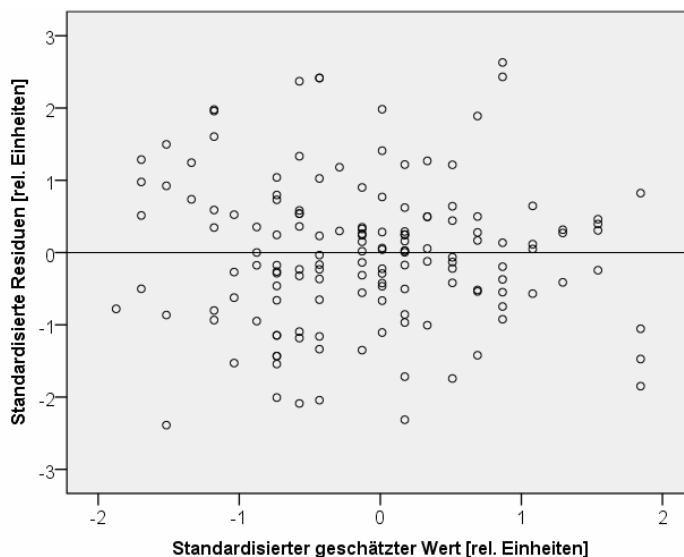


Abbildung 10.6.2.3. Streudiagramm der standardisierten Residuen zu den geschätzten Werten der Regressionsanalyse Pretest / Lernzuwachs.

Zu 4: Zum Ausschluss der Autokorrelation galt es zu überprüfen, ob die Residuen nicht miteinander korrelierten. Dies ließ sich über den Durbin-Watson-Test ermitteln. Bei diesem Test können Werte von null bis vier entstehen; Werte um zwei korrelieren hierbei nicht miteinander, wohingegen bei einem Wert von null eine perfekte positive und bei vier eine komplett negative Autokorrelation vorliegt (einfache lineare Regression, Universität Zürich, 2010). Der Durbin-Watson-Wert lag bei 1,731 (s. Tab. 10.6.2.1), weshalb die Autokorrelation ausgeschlossen wurde.

Tabelle 10.6.2.1

Durbin-Watson-Test (Regressionsanalyse Pretest / Lernzuwachs)

<u>Durbin-Watson-Statistik</u>
<u>1,731</u>

Insgesamt konnte also festgestellt werden, dass die Voraussetzungen für eine Regressionsanalyse erfüllt waren. Falls die visuelle Testung der Homoskedastizität falsch interpretiert wäre, könnte dennoch eine Regressionsanalyse durchgeführt werden, da „die Regressionsanalyse ein robustes Verfahren ist, bei dem geringe Verletzung (der Normalverteilung oder) der Homoskedastizität zu tolerierbaren Verzerrungen führen“ kann (Rudolf & Kuhlisch, 2008, S. 233).

IV. ERGEBNISSE

11 Ergebnisse

Mit dieser Forschungsarbeit sollte untersucht werden, ob sich die Unterrichtsform (Realexperiment, Virtuelles Experiment & Arbeitsblätter) auf das Lernen und die Motivation auswirkten und wie Lernen und Motivation sich gegenseitig beeinflussten. Dazu wurde zunächst das Vorwissen mit einem Pretest ermittelt. Der Lernerfolg wurde mit einem Posttest gemessen. Je größer die Differenz von Posttest zu Pretest ausfiel, desto größer fiel der Lernzuwachs bei den SuS aus. Die Motivation wurde unterteilt in Interesse, Nichtinteresse und selbstbestimmte Motivation. Sämtliche Motivationsarten wurden mit den Ergebnissen des Lernerfolgs und des Lernzuwachs in Beziehung gesetzt, um herauszufinden, wie groß die Zusammenhänge ausfielen. Ferner wurde noch der Einfluss des Vorwissens auf das Ergebnis des Lernerfolgs und des Lernzuwachs untersucht.

11.1 Ergebnis des Pretests

Um mit dieser Studie den Lernzuwachs in einer Unterrichtseinheit bei unterschiedlichen Unterrichtsformen zu überprüfen (Untersuchungsfrage 1), war es notwendig, zuerst den Vorwissenstand zu ermitteln. Da sich die SuS relativ am Anfang der Unterrichtsreihe befanden, wurde davon ausgegangen, dass sie über ein geringes Vorwissen verfügten. Trotzdem hätte es sein können, dass sich die SuS der verschiedenen Kurse in ihrem Vorwissenstand unterschieden.

Für den Kruskal-Wallis-Test wurde folgende Nullhypothese aufgestellt:

H_0 = Die Tendenzen der drei Stichproben (Leistungsergebnisse des Pretests bei den verschiedenen Versuchsgruppen) sind gleich.

Die statistische Auswertung mittels des Kruskal-Wallis-Test zeigte, dass die mittleren Ränge sehr nah beieinander lagen (s. Tab. 11.1.1) und dass die Nullhypothese bestätigt werden konnte: Die SuS hatten keine signifikanten Unterschiede bzgl. ihres Vorwissenstandes (Pretest) (s. Tab. 11.1.2).

Tabelle 11.1.1

Ränge des Kruskal-Wallis-Tests beim Pretest

Versuch	N	Mittlerer Rang
Realexperiment	50	75,40
Virtuelles Experiment	54	77,89
Kontrollgruppe	50	79,18
Gesamt	154	

Tabelle 11.1.2

Statistik des Kruskal-Wallis-Test beim Pretest

	Pretest
Chi-Quadrat	,187
df	2
Asymptotische Signifikanz	,911

Insgesamt zeigte sich, dass die SuS der Kontrollgruppe die Fragen des Pretests homogener beantwortet hatten (s. Abb. 11.1.1).

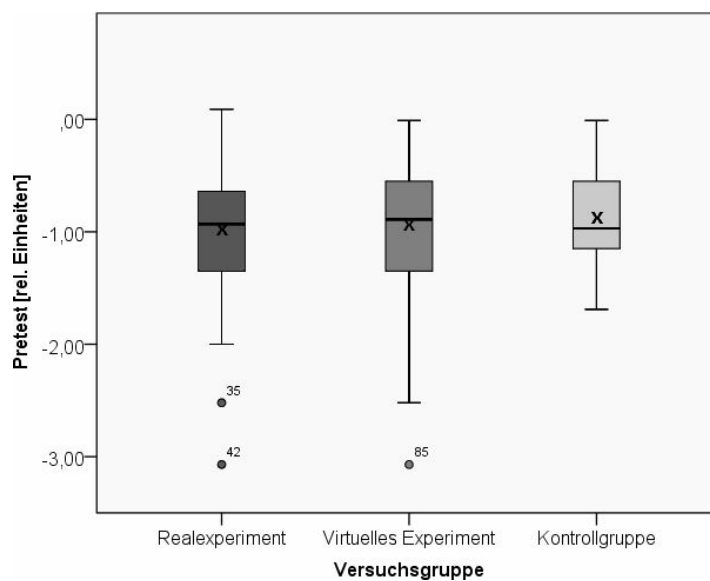


Abbildung 11.1.1. Ergebnis des Pretests bei den drei Versuchsgruppen (Realexperiment N = 50, Virtuelles Experiment N = 54, Kontrollgruppe N = 50).

11.2 Ergebnis des Posttests

Um zu überprüfen, bei welcher Unterrichtsform die SuS den größten Lernerfolg erzielt hatten (Untersuchungsfrage 1), wurde nach der Unterrichtseinheit ein zweiter Wissenstest durchgeführt (Posttest). Da davon ausgegangen wurde, dass die Ergebnisse unterschiedlich ausfallen würden, lautete die Alternativhypothese für den Kruskal-Wallis-Test deshalb:

H_1 = Die Ergebnisse der Posttests der untersuchten Gruppen unterscheiden sich.

Wie in Tab. 11.2.1 zu erkennen war, wichen die mittleren Ränge voneinander ab; da das Signifikanzniveau kleiner 0,01 war (s. Tab. 11.2.2), lagen bei den Ergebnissen des Posttests bezogen auf die drei Stichproben Unterschiede der zentralen Tendenz vor.

Tabelle 11.2.1

Ränge beim Kruskal-Wallis-Test beim Posttest

	Versuchsgruppe	N	Mittlerer Rang
Posttest	Realexperiment	50	94,93
	Virtuelles Experiment	54	83,48
	Kontrollgruppe	50	53,61
	Gesamt	154	

Tabelle 11.2.2

Statistik für Kruskal-Wallis-Test beim Posttest

	Posttest
Chi-Quadrat	22,966
df	2
Asymptotische Signifikanz	,000

Um herauszufinden, ob zwischen allen Stichproben bzgl. der Ergebnisse des Posttests signifikante Unterschiede herrschten, wurde ein Post-hoc-Test (Dunn-Bonferroni-Test) mit Fehlerkorrektur (alpha-Fehler) durchgeführt (s. Tab. 11.2.3) (Keller, 2013). Wie zu erkennen war, wichen die Stichproben des Realexperimentes und des Virtuellen

Experimentes von der Kontrollgruppe höchst bzw. sehr signifikant voneinander ab (s. Abb. 11.2.1), allerdings nicht untereinander. Somit konnte die aufgestellte Hypothese nur zum Teil bestätigt werden.

Tabelle 11.2.3

Post-hoc-Test des Posttests

Stichprobe 1 – Stichprobe 2	Teststatistik	Standard- fehler	Std. Teststatistik	Signifikanz	Angep. Signifikanz
Kontrollgruppe – Realexperiment	41,320	8,918	4,633	0,000	0,000
Kontrollgruppe – Virt. Experiment	29,871	8,751	3,413	0,001	0,002
Virt. Experiment - Realexperiment	11,449	8,751	1,308	0,191	0,572

Anmerkung. Jede Zeile testet die Nullhypothese, dass die Verteilung von Stichprobe 1 und Stichprobe 2 gleich sind.

Asymptotische Signifikanz (2-seitige Tests) werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist 0,05.

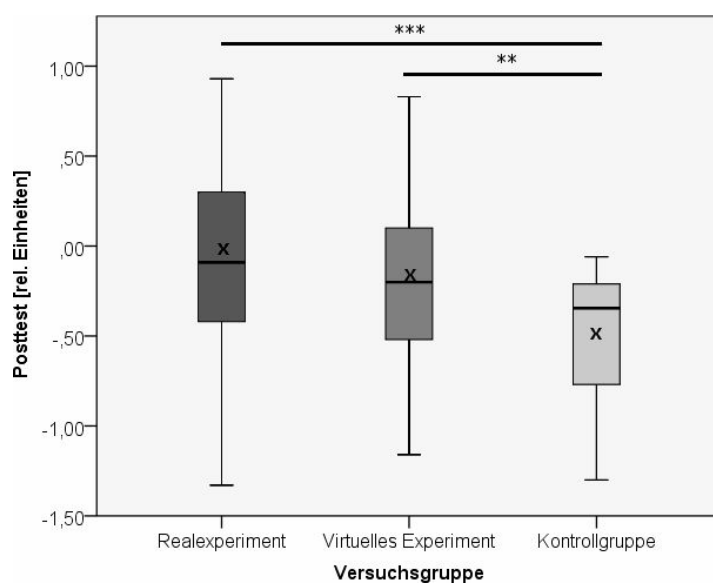


Abbildung 11.2.1. Ergebnis des Posttests bei den drei Versuchsgruppen (Realexperiment N = 50, Virtuelles Experiment N = 54, Kontrollgruppe N = 50).

Insgesamt ließ sich feststellen, dass sich die SuS sowohl beim Realexperiment höchst signifikant als auch beim Virtuellen Experiment sehr signifikant mehr Fachwissen angeeignet hatten, als die SuS der Kontrollgruppe. Das Fachwissen beim Realexperiment fiel im Durchschnitt etwas höher aus als beim Virtuellen Experiment, dieser Unterschied ist jedoch nicht signifikant.

Bestimmung der Effektstärke des Posttests

Für den Posttest wurde mittels der Formel $r = Z / \sqrt{N}$ die Effektstärken berechnet. Z entspricht der Standard-Teststatistik (s. Tab. 11.2.4) und N der Stichprobengröße (Keller, 2015).

Somit ist die Effektstärke für den Unterschied zwischen Kontrolle – Realexperiment von $r = 0,463$ als mittel zu bewerten und für den Unterschied zwischen Kontrolle – Virtuellem Experiment wurde eine mittlere Effektstärke ($r = 0,335$) berechnet.

11.3 Ergebnis des Lernzuwachses

Für den Kruskal-Wallis-Test wurde die folgende Alternativhypothese aufgestellt:

H_1 = Die Ergebnisse des Lernzuwachs fällt bei den untersuchten Gruppen unterschiedlich aus.

Nach dem Kruskal-Wallis-Test wurden die Unterschiede deutlich. Die Versuchsgruppen des Realexperimentes, des Virtuellen Experiments und der Kontrollgruppe wichen bezüglich der mittleren Ränge voneinander ab, wohingegen das Realexperiment den höchsten Wert besaß (s. Tab. 11.3.1). Laut Statistik waren zumindest teilweise signifikante Unterschiede bei diesen Ergebnissen vorhanden (s. Tab. 11.3.2).

Tabelle 11.3.1

Ränge beim Kruskal-Wallis-Test beim Lernzuwachs

Versuchsgruppen	N	Mittlerer Rang
Realexperiment	50	92,52
Virt. Experiment	54	83,78

Kontrollgruppe	50	55,70
Gesamt	154	

Tabelle 11.3.2

Statistik für Kruskal-Wallis-Test beim Lernzuwachs

	Lernzuwachs
Chi-Quadrat	18,689
df	2
Asymptotische Signifikanz	,000

Um zu überprüfen, welche Gruppen sich signifikant voneinander unterschieden, wurde ein Post-hoc-Test (Dunn-Bonferroni-Test) mit Fehlerkorrektur (alpha-Fehler) durchgeführt (Keller, 2013). Wie in der Tab. 11.3.2 zu erkennen war, wichen beim Lernzuwachs die Ergebnisse der Versuchsgruppe des Realexperimentes zu der Kontrollgruppe höchst signifikant voneinander ab. Der Vergleich (s. Tab. 11.3.3) von den Daten der Versuchsgruppen Virtuelles Experiment und Kontrollgruppe unterschied sich sehr signifikant. Der Lernzuwachs bei Virtuellem Experiment und Realexperiment unterschied sich nicht signifikant. Die Alternativhypothese wurde folglich zum Teil bestätigt.

Tabelle 11.3.3

Post-hoc-Tests des Lernzuwachses

Stichprobe 1 – Stichprobe 2	Test- statistik	Standard- fehler	Std. Teststatistik	Signifikanz	Angep. Signifikanz
Kontrollgruppe - Realexperiment	36,820	8,919	4,128	,000	,000
Kontrollgruppe – Virt. Experiment	28,078	8,753	3,208	,001	,004
Virt. Experiment - Realexperiment	8,742	8,753	,999	,318	,954

Anmerkung. Jede Zeile testet die Nullhypothese, dass die Verteilung von Stichprobe 1 und Stichprobe 2 gleich sind. Asymptotische Signifikanz (2-seitige Tests) werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist 0,05.

Insgesamt lernten die SuS der Versuchsgruppen Realexperiment und Virtuelles Experiment bezogen auf die Untersuchungsfragen signifikant mehr dazu als die Kontrollgruppe; einige SuS der Versuchsgruppe Realexperiment erzielten deutlich höhere Lernzuwächse als die anderen beiden Versuchsgruppen (s. Abb. 11.3.2, oberer Whisker).

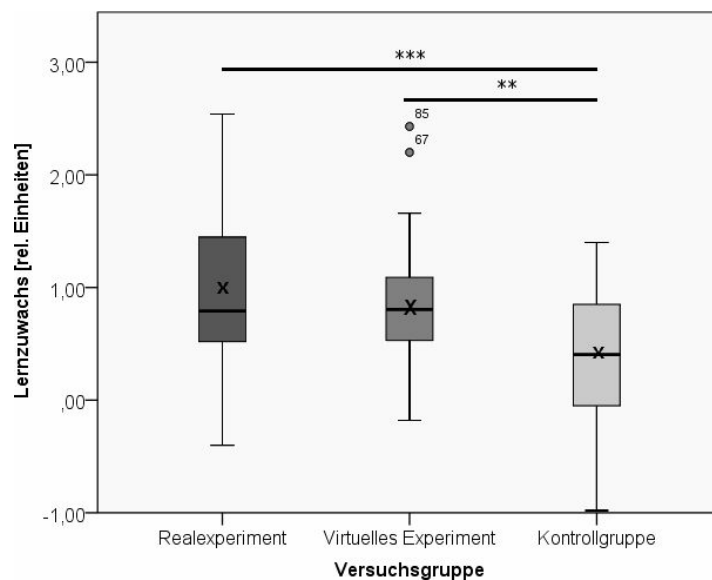


Abbildung 11.3.1. Ergebnis des Lernzuwachses bei den drei Versuchsgruppen. (Realexperiment N = 50, Virtuelles Experiment N = 54, Kontrollgruppe N = 50).

Bestimmung der Effektstärke des Lernzuwachses

Entsprechend zum Posttest fielen die Effektstärken für den Lernzuwachs für die Unterschiede zwischen Kontrolle – Realexperiment ($r = 0,413$) und zwischen Kontrolle - Virtuellem Experiment ($r = 0,315$) mittel aus.

11.4 Ergebnisse zur Motivation

Mit Hilfe der Ergebnisse des Fragebogens zur Motivation wurde die Motivation der SuS für jede der drei Unterrichtsformen festgestellt. Dabei wurden die Fragen in die Kategorien Interesse, Nichtinteresse und selbstbestimmte Motivation unterteilt.

Interesse

Beim Interesse galten bezogen auf die Gesamtstichprobe folgende Werte:

$N = 154$; $\bar{x}_{Interesse} = 2,460$ und $SD_{Interesse} = 0,843$.

Aufgrund der unterschiedlichen Unterrichtsformen wurde davon ausgegangen, dass sich diese Unterschiede auf die Motivation auswirkten und das Interesse abhängig von der Unterrichtsform unterschiedlich ausfällt (s. Kap. 5). Deshalb wurde für die Motivationsart Interesse folgende Alternativhypothese aufgestellt:

H_1 = Die Ergebnisse zum Interesse unterscheiden sich bei den verschiedenen Unterrichtsdurchführungen.

Da sich die Werte für das Interesse aus fünf Fragen zusammensetzten, wurden die Ergebnisse der Fragen zu diesem Aspekt addiert. Da die Fragen mit einer vierstufigen-Likert-Skala versehen waren (wobei „trifft gar nicht zu“ mit dem Wert eins berechnet wurde), hätte man Werte von fünf bis 20 erhalten können.

Anhand der Histogramme (s. Abb. 11.4.1) ließ sich feststellen, dass die Versuchsgruppen sehr unterschiedlich geantwortet hatten. Die SuS der Versuchsgruppe Realexperiment hatten Werte zwischen neun und 20, die des Virtuellen Experiments zwischen sieben und 17 und die der Kontrollgruppe Werte von fünf und 14.

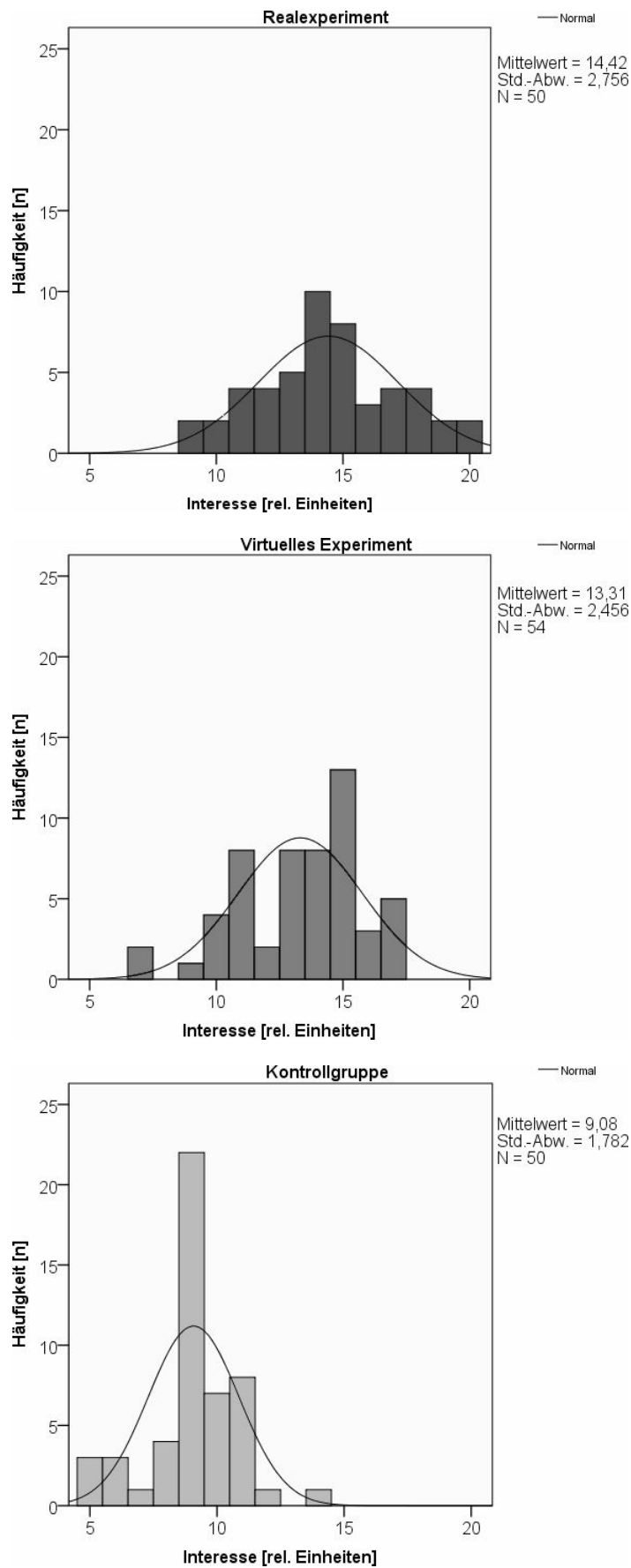


Abbildung 11.4.1 Häufigkeitsverteilung der Ergebnisse des Interesses (von oben nach unten: Realexperiment, Virtuelles Experiment, Kontrollgruppe).

Wie man in Abb. 11.4.1 ebenfalls feststellen konnte, sind deutliche Unterschiede bei der Kontrollgruppe zu den beiden anderen Unterrichtsdurchführungen erkennbar. Dies zeigte sich auch im Vergleich der mittleren Ränge beim Kruskal-Wallis-Test (s. Tab. 11.4.1). Der Unterschied zwischen den Versuchsgruppen des Realexperiments und des Virtuellem Experiments fiel deutlich geringer aus. Dabei konnte das Realexperiment etwas höhere Motivationswerte hervorrufen.

Tabelle 11.4.1

Ränge beim Kruskal-Wallis-Test beim Interesse

Versuchsgruppe	N	Mittlerer Rang
Realexperiment	50	105,33
Virtuelles Experiment	54	93,31
Kontrollgruppe	50	32,60
Gesamt	154	

Mit der Tab. 11.4.2 wurde festgestellt, dass signifikante Unterschiede vorhanden waren.

Tabelle 11.4.2

Statistik für Kruskal-Wallis-Test beim Interesse

	Interesse
Chi-Quadrat	77,895
df	2
Asymptotische Signifikanz	,000

Die Signifikanzen wurden mittels des Post-hoc-Tests (Dunn-Bonferroni-Test; s. Tab. 11.4.3) bestimmt. Das Ergebnis zum Interesse bei der Kontrollgruppe war höchst signifikant unterschiedlich zu den beiden anderen Versuchsgruppen. Der Unterschied zwischen Realexperiment und Virtuellen Experiment war nicht signifikant unterschiedlich. Die Alternativhypothese ließ sich also teilweise bestätigen (s. Abb. 11.4.2).

Tabelle 11.4.3

Post-hoc-Tests des Interesses

Stichprobe 1 – Stichprobe 2	Test- statistik	Standard- fehler	Std. Teststatistik	Signifikanz	Angep. Signifikanz
Kontrollgruppe - Realexperiment	72,730	8,864	8,205	,000	,000
Kontrollgruppe – Virt. Experiment	60,706	8,699	6,979	,000	,000
Virt. Experiment - Realexperiment	12,024	8,695	1,283	,167	,501

Anmerkung. Jede Zeile testet die Nullhypothese, dass die Verteilung von Stichprobe 1 und Stichprobe 2 gleich sind. Asymptotische Signifikanzen (2-seitige Tests) werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist 0,05.

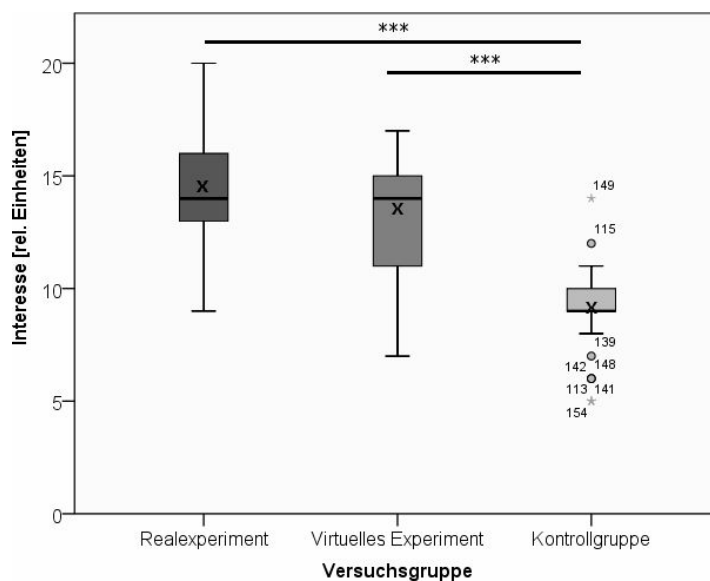


Abbildung. 11.4.2. Ergebnis Interesse bei den drei Versuchsgruppen (Realexperiment N = 50, Virtuelles Experiment N = 54, Kontrollgruppe N = 50).

Bestimmung der Effektstärke für das Interesse

Nach der Berechnung wurden sowohl für den Unterschied zwischen Kontrolle – Realexperiment ($r = 0,821$) als auch für den Unterschied zwischen Kontrolle – Virtuellem Experiment ($r = 0,684$) große Effektstärken berechnet.

Nichtinteresse

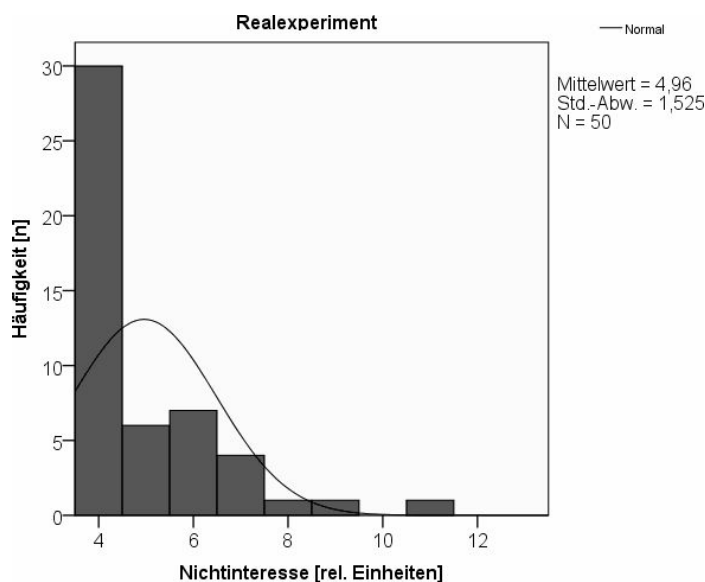
Für die Untersuchung des Nichtinteresses galten folgende statistische Werte:

$N = 154$; $\bar{x}_{\text{Nichtinteresse}} = 1,476$ und $SD_{\text{Nichtinteresse}} = 0,642$.

Da Nichtinteresse Gegenteil zu Interesse ist, wurden genau diametrale Ergebnisse im Vergleich zur Untersuchung der Motivationskomponente Interesse erwartet. Deshalb wurde auch folgende Alternativhypothese formuliert:

H_1 = Die Ergebnisse zum Nichtinteresse unterscheiden sich bei den verschiedenen Unterrichtsdurchführungen

Die Werte zum Nichtinteresse erfolgten aus dem Ergebnis der Summation von vier Fragen des Motivationsfragebogens. Die Messergebnisse konnten also zwischen den Werten vier und 16 liegen.



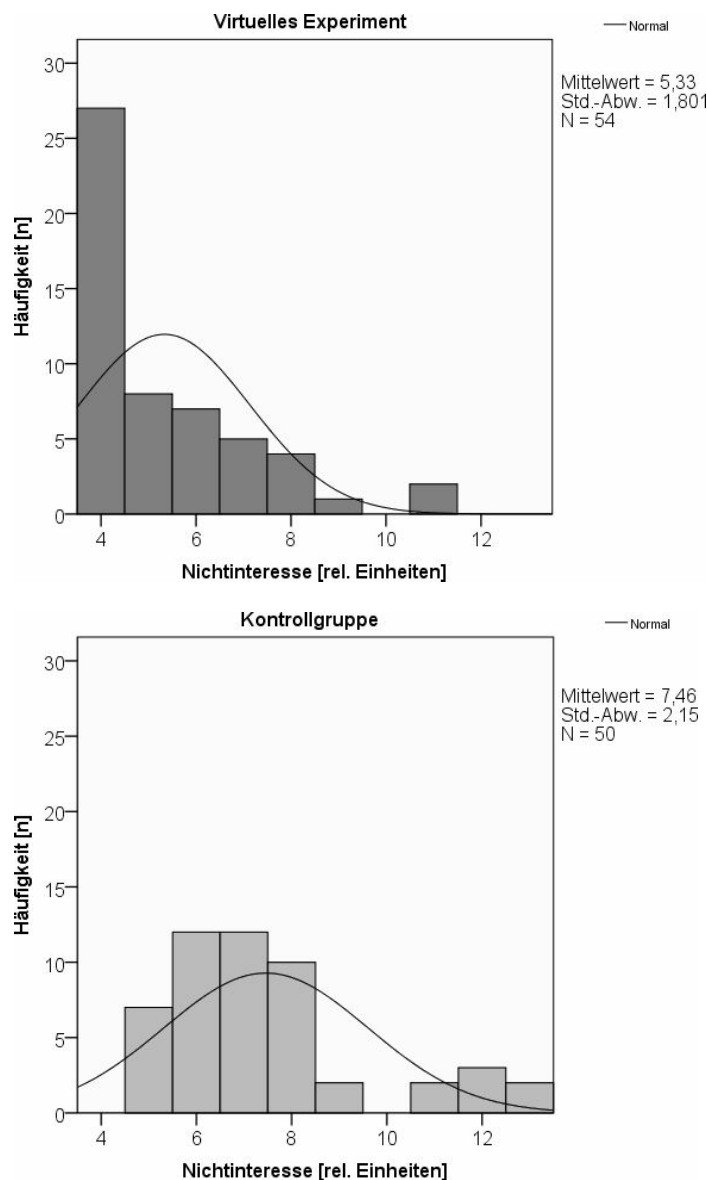


Abbildung 11.4.3. Häufigkeitsverteilung der Ergebnisse des Nichtinteresses (von oben nach unten: Realexperiment, Virtuelles Experiment, Kontrollgruppe).

Mit Hilfe der Histogramme (s. Abb. 11.4.3) ließ sich deutlich erkennen, dass die SuS der Versuchsgruppen mit Experimentanteil ein deutlich geringeres Nichtinteresse aufwiesen als die Kontrollgruppe. Dabei hatten die SuS der Versuchsgruppe Realexperiment und der Versuchsgruppe Virtuelles Experiment Werte zwischen vier und elf wohingegen die SuS der Versuchsgruppe Kontrollgruppe Werte von fünf und 13 erzielten. An der Abb. 11.4.3 sowie an der Abb. 11.4.4 ließ sich das deutlich niedrigere Nichtinteresse der SuS beim Real- und beim Virtuellen Experiment ablesen. Die SuS der Kontrollgruppe standen der Unterrichtseinheit somit deutlich uninteressierter gegenüber als die SuS der anderen beiden Versuchsgruppen.

Mit Hilfe des Kruskal-Wallis-Test wurde folgendes festgestellt: Die Ergebnisse von Realexperiment, Virtuellem Experiment und Kontrollgruppe wichen sichtlich voneinander ab (s. Tab. 11.4.5). Da laut Tab. 11.4.6 signifikante Unterschiede ermittelt wurden, wurden die einzelnen Unterschiede mittels des Post-hoc-Tests (Dunn-Bonferroni-Test) berechnet (s. Tab. 11.4.7).

Tabelle 11.4.4

Ränge beim Kruskal-Wallis-Test beim Nichtinteresse

Versuchsgruppe	N	Mittlerer Rang
Realexperiment	50	56,02
Virt. Experiment	54	65,02
Kontrollgruppe	50	112,46
Gesamt	154	

Tabelle 11.4.5

Statistik für Kruskal-Wallis-Test beim Nichtinteresse

	Nichtinteresse
Chi-Quadrat	49,600
df	2
Asymptotische Signifikanz	,000

Tabelle 11.4.6

Post-hoc-Test des Nichtinteresses

Stichprobe 1 – Stichprobe 2	Test- statistik	Standard- fehler	Std. Teststatistik	Signifikanz	Angep. Signifikanz
Kontrollgruppe - Realexperiment	56,440	8,641	6,531	,000	,000
Kontrollgruppe – Virt. Experiment	47,441	8,480	5,595	,000	,000

Virt. Experiment	8,999	8,480	1,061	,289	,866
- Realexperiment					

Anmerkung. Jede Zeile testet die Nullhypothese, dass die Verteilung von Stichprobe 1 und Stichprobe 2 gleich sind.

Asymptotische Signifikanzen (2-seitige Tests) werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist 0,05.

Anhand des Post-hoc-Tests für das Nichtinteresse wurde festgestellt, dass die Ergebnisse der Versuchsgruppe der Kontrollgruppe sich höchst signifikant sowohl von dem Realexperiment als auch vom Virtuellen Experiment unterscheiden (s. Abb.11.4.4).

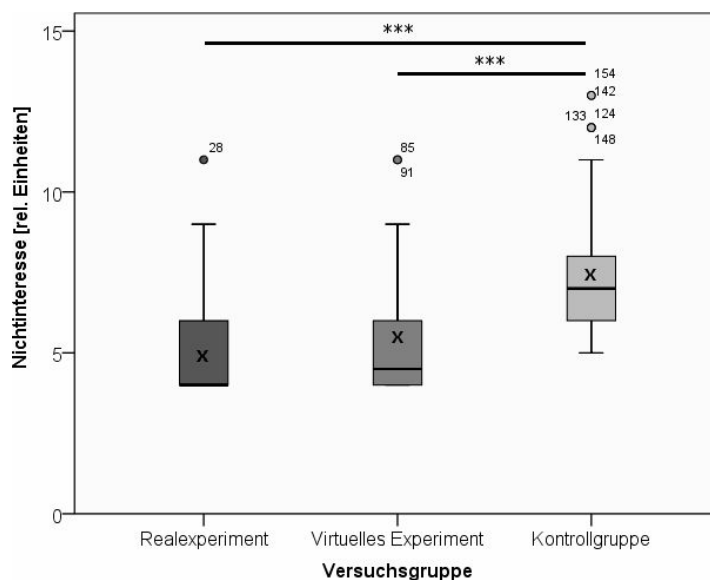


Abbildung. 11.4.4. Ergebnis Nichtinteresse bei den drei Versuchsgruppen (Realexperiment N = 50, Virtuelles Experiment N = 54, Kontrollgruppe N = 50).

Allerdings gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen der Versuchsgruppe des Realexperiments und des Virtuellen Experiments. Die Nullhypothese konnte somit nur zum Teil bestätigt werden.

Bestimmung der Effektstärke für das Nichtinteresse

Die beiden Effektstärken für den Unterschied zwischen Kontrolle – Realexperiment und zwischen Kontrolle und Virtuellem Experiment fielen mit $r = 0,653$ und $r = 0,549$ ebenfalls groß aus.

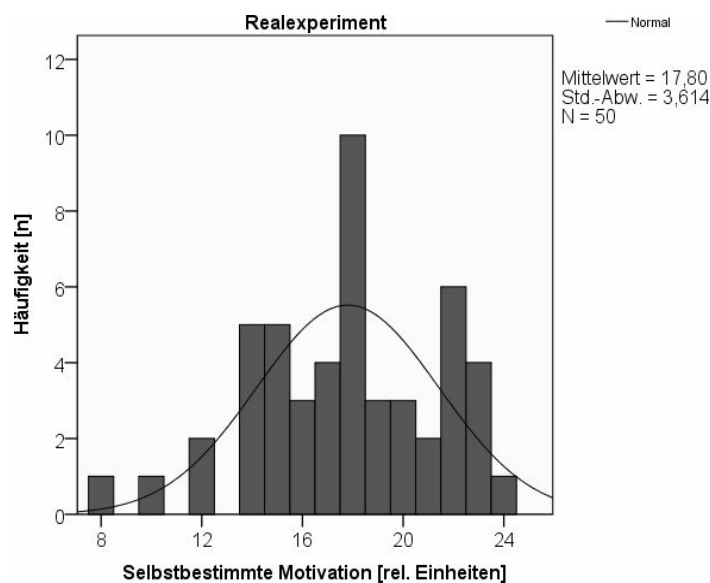
Selbstbestimmte Motivation

Für die Gesamtstichprobe galt: $N = 154$; $\bar{x}_{selbst.Mot.} = 2,739$ und $SD_{selbst.Mot.} = 0,797$.

Bei der Untersuchung zur selbstbestimmten Motivation ging es um die Frage, ob die Unterrichtsform Auswirkungen auf diese Motivationsart hatte. Da positive Erfahrungen die selbstbestimmte Motivation fördern, wurde die Alternativhypothese aufgestellt, dass die Unterrichtsdurchführung einen Einfluss auf die selbstbestimmte Motivation haben würde.

H_1 = Die Ergebnisse zur selbstbestimmten Motivation unterscheiden sich bei den verschiedenen Unterrichtsdurchführungen.

Die Ergebnisse zur selbstbestimmten Motivation ergaben sich aus der Addition der Antworten von sechs Items. Folglich ist der Maximalwert 24.



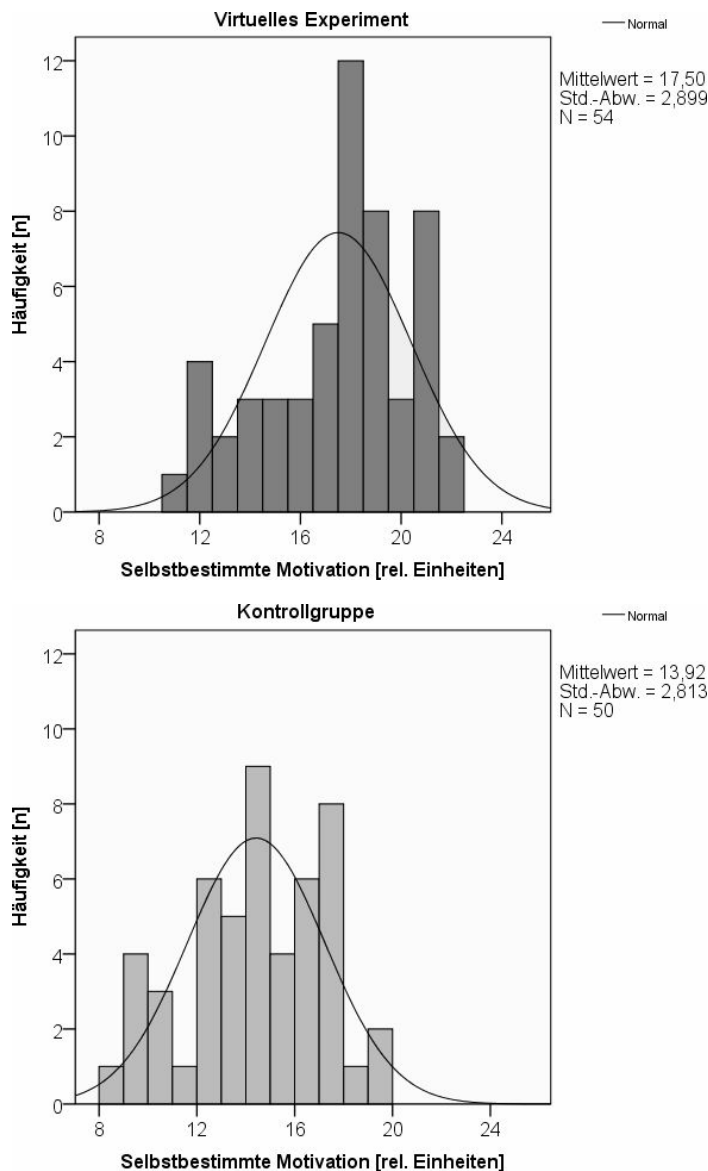


Abbildung 11.4.5. Häufigkeitsverteilung der Ergebnisse der selbstbestimmten Motivation (von oben nach unten: Realexperiment, Virtuelles Experiment, Kontrollgruppe).

Die Histogramme (s. Abb. 11.4.5) zeigten das summierte Antwortverhalten der SuS bezüglich der Fragen zur selbstbestimmten Motivation. Die SuS der Versuchsgruppe der Kontrollgruppe hatten etwas geringere Werte bei der selbstbestimmten Motivation. Aus der Tab. 11.4.9 wurde entnommen, dass die mittleren Rängen des Kruskal-Wallis-Test beim Realexperiment und Virtuellen Experiment relativ ähnlich waren und besser ausfielen als die Kontrollgruppe. Es sind signifikante Unterschiede vorhanden (s. Tab. 11.4.10).

Tabelle 11.4.7

Ränge beim Kruskal-Wallis-Test bei der selbstbestimmten Motivation

Versuchsgruppe	N	Mittlerer Rang
Realexperiment	50	94,03
Virtuelles Experiment	54	91,89
Kontrollgruppe	50	45,43
Gesamt	154	

Tabelle 11.4.8

Statistik für Kruskal-Wallis-Test bei der selbstbestimmten Motivation

	Selbstbestimmte Motivation
Chi-Quadrat	38,674
Df	2
Asymptotische Signifikanz	,000

Mit dem Post-hoc-Test (Dunn-Bonferroni-Test) zur selbstbestimmten Motivation (s. Tab. 11.4.11) konnte man erkennen, dass sowohl das Realexperiment als auch das Virtuelle Experiment bzgl. der selbstbestimmten Motivation sich höchst signifikant von der Kontrollgruppe unterscheiden.

Tabelle 11.4.9

Post-hoc-Test der selbstbestimmten Motivation

Stichprobe 1 – Stichprobe 2	Test- statistik	Standard- fehler	Std. Teststatistik	Signifikanz	Angep. Signifikanz
Kontrollgruppe – Realexperiment	39,230	8,860	4,428	,000	,000
Kontrollgruppe – Virt. Experiment	39,564	8,694	4,551	,000	,000
Virt. Experiment - Realexperiment	,334	8,694	,038	,969	1,000

Anmerkung. Jede Zeile testet die Nullhypothese, dass die Verteilung von Stichprobe 1 und Stichprobe 2 gleich sind. Asymptotische Signifikanzen (2-seitige Tests) werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist 0,05.

Die Alternativhypothese wurde also nur teilweise bestätigt, da kein signifikanter Unterschied zwischen Virtuellem Experiment und Realexperiment bestimmt wurde (s. Abb. 11.4.6).

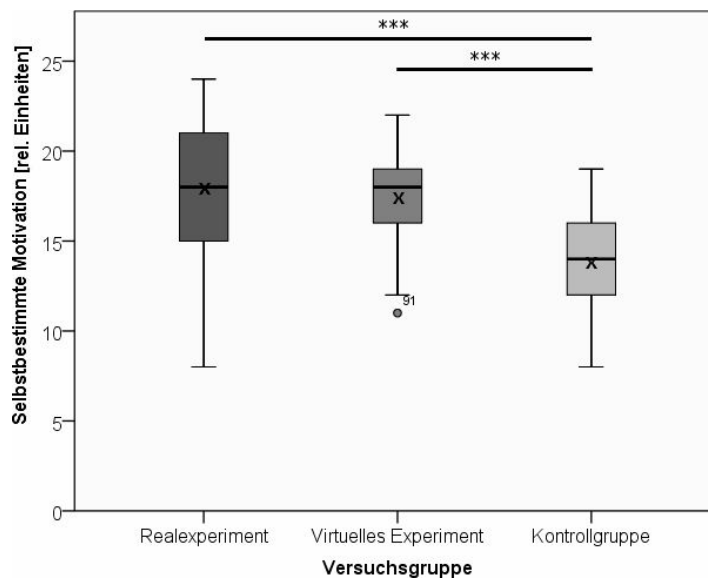


Abbildung. 11.4.6. Ergebnis selbstbestimmte Motivation bei den drei Versuchsgruppen (Realexperiment N = 50, Virtuelles Experiment N = 54, Kontrollgruppe N = 50).

Bestimmung der Effektstärke für die selbstbestimmte Motivation

Für die selbstbestimmte Motivation fielen die Unterschiede zwischen Kontrolle – Realexperiment und zwischen Kontrolle -Virtuellem Experiment mit $r = 0,443$ und $r = 0,446$ ebenfalls mittel aus.

11.5 Korrelationen zu Motivation und Lernen

Mit dieser Studie wurde auch untersucht, ob und wie sich Motivation auf das Lernen auswirkte. Deshalb wurden jeweils die Werte von Interesse, Nichtinteresse und Selbstbestimmte Motivation mit den Werten vom Ergebnis des Posttests bzw. des

Lernzuwachses miteinander in Beziehung gesetzt, um herauszufinden, wie stark die verschiedenen Variablen miteinander korrelierten.

Alle Ergebnisse der Korrelationen lagen mindestens auf dem 0,05 Niveau signifikant vor, der Zufall wurde also hierbei ausgeschlossen. Die Korrelationskoeffizienten r lagen bei allen Untersuchungen zwischen $\pm 0,1$ und $\pm 0,4$, folglich wurden sowohl geringe als auch mittlere Korrelationen festgestellt (Korrelation, Universität Zürich, 2010).

11.5.1 Korrelation von Interesse und Lernerfolg

Aus der Tab. 11.5.1.1 sowie aus der Abb. 11.5.1.1 wurde ein mittlere Effekt ($r = 0,320$; $R^2 = 0,104$) bei der Korrelation zwischen Interesse und dem Ergebnis des Posttests ermittelt. Dieses Ergebnis war auf dem 0,001 Niveau signifikant.

Tabelle 11.5.1.1

Korrelation von Interesse und Posttest

		Interesse
	Korrelationskoeffizient	,320***
Spearman-Rho	Posttest Sig. (1-seitig)	,000
	N	154

Anmerkung. ***. Die Korrelation ist auf dem 0,001 Niveau signifikant (einseitig).

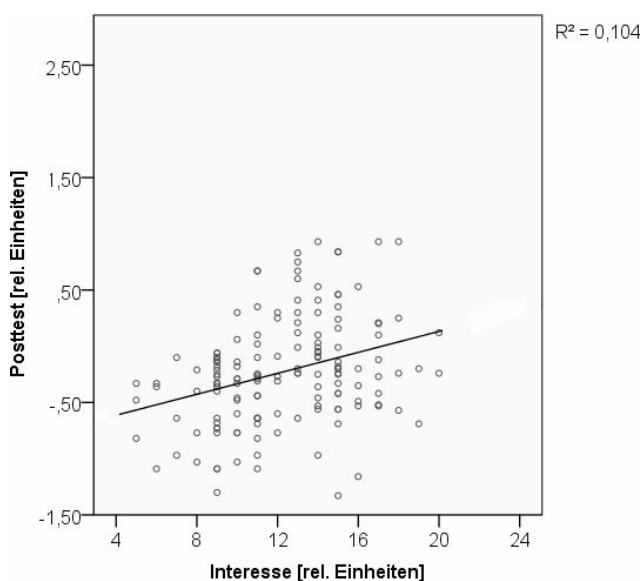


Abbildung 11.5.1.1. Korrelation von Interesse und Posttest.

Die Regressionsgerade hat eine Gleichung von $y = 0,047x - 0,8$.

11.5.2 Korrelation von Interesse und Lernzuwachs

Bei der Auswertung von Interesse zu Lernzuwachs wurde festgestellt (s. Tab. 11.5.2.1 & Abb. 11.5.2.1), dass der Korrelationskoeffizient geringer ausfiel ($r = 0,203$) als beim Lernerfolg und somit auch die Effektstärke als gering einzuschätzen war. Dies galt folglich auch für das Bestimmtheitsmaß ($R^2 = 0,052$). Dieses Ergebnis war entsprechend dem Posttest sehr signifikant.

Tabelle 11.5.2.1

Korrelation von Interesse und Lernzuwachs

		Interesse
Spearman-Rho	Lernzuwachs	Korrelationskoeffizient
		,203**
		Sig. (1-seitig)
		,006
		N
		154

Anmerkung. **. Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (einseitig).

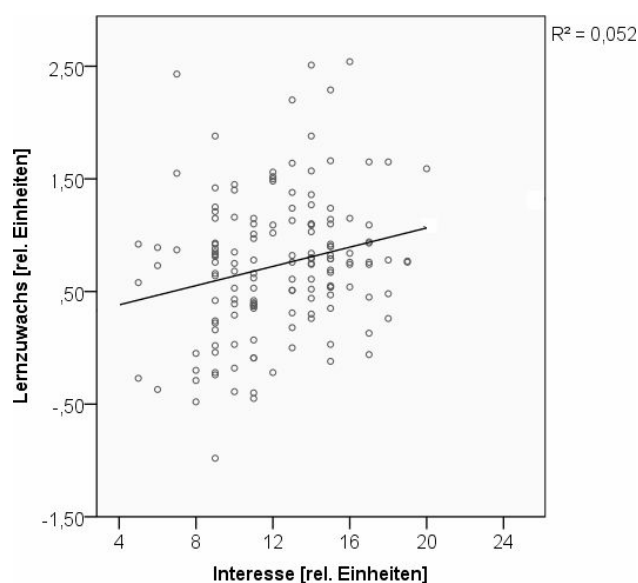


Abbildung 11.5.2.1. Korrelation von Interesse und Lernzuwachs.

Die Regressionsgerade hat eine Gleichung von $y = 0,043x + 0,211$.

11.5.3 Korrelation von Nichtinteresse und Lernerfolg

Der Korrelationskoeffizient der sehr signifikanten Korrelation von Nichtinteresse und dem Ergebnis des Posttest lag bei $r = -0,330$ (s. Tab. 11.5.3.1). Es lässt sich also ein negativer

Zusammenhang mit einer mittleren Effektstärke zwischen Nichtinteresse und dem Lernergebnis des Posttest feststellen (s. Abb. 11.5.3.1). Das Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0,087$ (s. Abb. 11.5.2.2) entspricht einer geringen Effektstärke.

Tabelle 11.5.3.1

Korrelation von Nichtinteresse und Posttest

		Nichtinteresse
	Korrelationskoeffizient	-,330***
Spearman-Rho	Posttest Sig. (1-seitig)	,000
	N	154

Anmerkung.***. Die Korrelation ist auf dem 0,001 Niveau signifikant (einseitig).

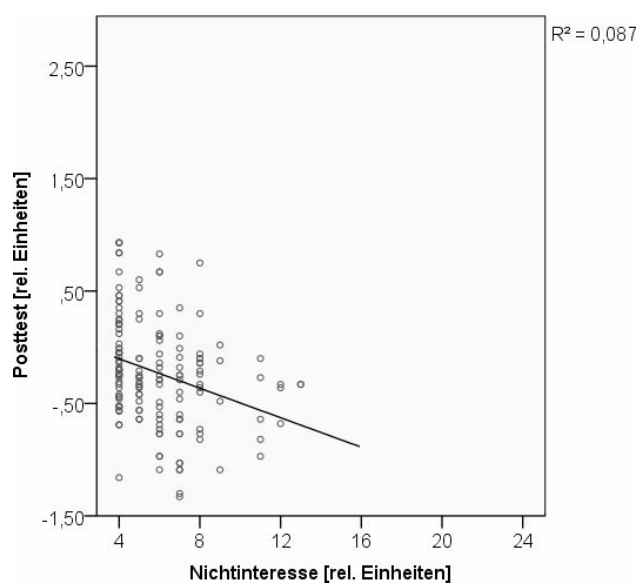


Abbildung 11.5.3.1. Korrelation von Nichtinteresse und Posttest.

Die Regressionsgerade hat eine Gleichung von $y = -0,066x + 0,16$.

11.5.4 Korrelation von Nichtinteresse und Lernzuwachs

Ähnlich wie bei der Untersuchung der Korrelation von Interesse zum Lernzuwachs lag auch hier im Vergleich zum Ergebnis des Posttests ein geringer und negativer Effekt bei der Korrelation vor (Korrelationskoeffizient $r = -0,177$ (s. Tab. 11.5.4.1)). Dies zeigt sich auch in der Abb. 11.5.4.1 beim Bestimmtheitsmaß ($R^2 = 0,012$). Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant.

Tabelle 11.5.4.1

Korrelation von Nichtinteresse und Lernzuwachs

		Nichtinteresse
Spearman-Rho	Lernzuwachs	Korrelationskoeffizient
		-,177*
		Sig. (1-seitig)
		,014
		N
		154

Anmerkung. *. Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (einseitig).

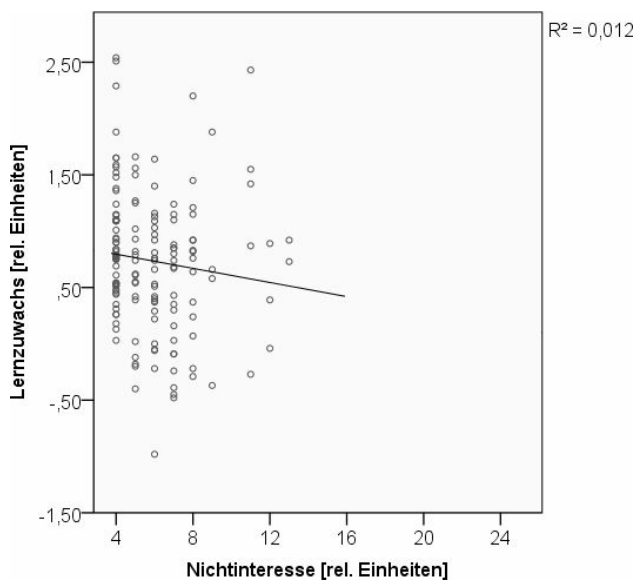


Abbildung 11.5.4.1. Korrelation von Nichtinteresse und Lernzuwachs.

Die Regressionsgerade hat eine Gleichung von $y = -0,031x + 0,921$.

11.5.5 Korrelation von selbstbestimmter Motivation und Lernerfolg

Das Ergebnis der Korrelation von selbstbestimmter Motivation und dem Ergebnis des Posttests war auf dem 0,01 Niveau signifikant. Der Korrelationskoeffizient hatte mit $r = 0,370$ einen mittleren Effekt (s. Tab. 11.5.5.1). Dies entsprach auch dem Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0,134$ (s. Abb. 11.5.5.1).

Tabelle 11.5.5.1

Korrelation von selbstbestimmter Motivation und Posttest

		Selbstbestimmte Motivation
	Korrelationskoeffizient	,370 ^{***}
Spearman-Rho Posttest	Sig. (1-seitig)	,000
	N	154

Anmerkung. ^{***}. Die Korrelation ist auf dem 0,001 Niveau signifikant (einseitig).

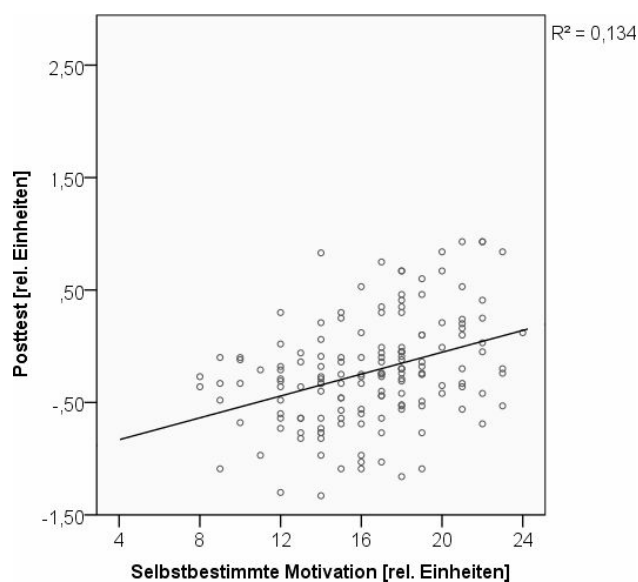


Abbildung 11.5.5.1. Korrelation von selbstbestimmter Motivation und Posttest.

Die Regressionsgerade hat eine Gleichung von $y = 0,049x - 1,026$.

11.5.6 Korrelation von selbstbestimmter Motivation und Lernzuwachs

Im Vergleich zur Korrelation mit dem Posttest fiel auch bei der Korrelation von selbstbestimmter Motivation zum Lernzuwachs ein geringerer Korrelationskoeffizient ($r = 0,160$) auf, was einen geringen Effekt bedeutete ($R^2 = 0,031$) und eine etwas geringere Signifikanz (s. Tab. 11.5.6.1 & Abb. 11.5.6.1). Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant.

Tabelle 11.5.6.1

Korrelation von selbstbestimmter Motivation und Lernzuwachs

		Selbstbestimmte Motivation
	Korrelationskoeffizient	,160*
Spearman-Rho	Lernzuwachs Sig. (1-seitig)	,023
	N	154

Anmerkung. *. Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (einseitig).

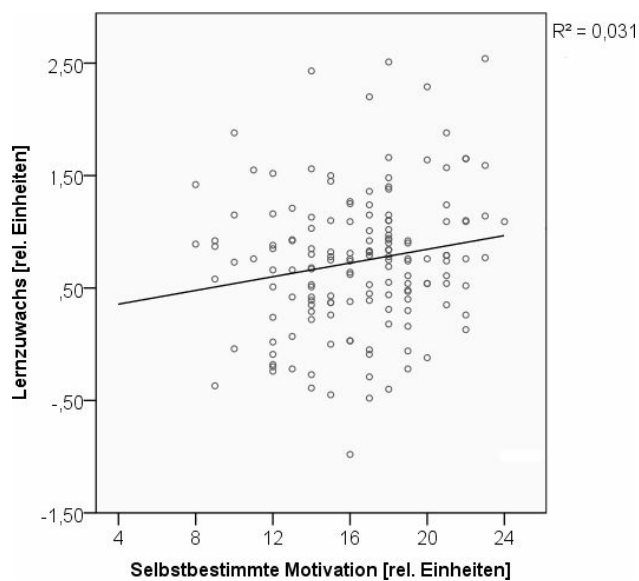


Abbildung 11.5.6.1. Korrelation von selbstbestimmter Motivation und Lernzuwachs.

Die Regressionsgerade hat eine Gleichung von $y = 0,03x + 0,235$.

11.6 Korrelation von Pre- und Posttest

Anhand Tab. 11.6.1 wurde festgestellt, dass sich das Vorwissen höchst signifikant mit dem Lernerfolg korrelierte. Der Korrelationskoeffizient lag bei $r = 0,276$; somit ergab sich eine geringe Korrelationsstärke. Die Effektstärke fiel mit $R^2 = 0,088$ ebenfalls in den geringen Bereich. Folglich wurden ca. 9 % der Varianz erklärt.

Tabelle 11.6.1

Korrelation von Pre- und Posttest

			Posttest
Spearman-Rho	Pretest	Korrelationskoeffizient	,274**
		Sig. (1-seitig)	,000
		N	154

Anmerkung. **. Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (einseitig).

11.7 Regressionsanalyse Pretest / Lernzuwachs

Die Ergebnisse der Regressionsanalyse waren höchst signifikant (s. Tab. 11.7.1). Der Pretest hat somit einen Einfluss auf den Lernzuwachs, der nicht zufällig ist. Dabei liegt der Regressionskoeffizient bei $r = -0,744$ (s. Tab. 11.7.2). Es gab also einen negativen und sehr großen Zusammenhang. Dementsprechend galt, je besser das Vorwissen ausgeprägt war, desto geringer war der Lernzuwachs. Dieser Zusammenhang war als groß einzuordnen. Auch die Effektstärke mit $R^2 = 0,462$ fiel groß aus (s. Tab. 11.6.2.5). Es wurden so ca. 46% der Varianz erklärt.

Tabelle 11.7.1

ANOVA der Regressionsanalyse Pretest / Lernzuwachs

Modell		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
1	Regression	26,752	1	26,752	130,324	,000
	Nicht standardisierte Residuen	31,201	152	,205		
	Gesamt	57,953	153			

Tabelle 11.7.2

Regressionskoeffizienten der Regressionsanalyse Pretest / Lernzuwachs

Modell	Nicht standardisierte Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten	T	Sig.
	Regressionskoeffizient B	Standardfehler	Beta		
1 (Konstante)	,200	,073		,276	,783
Pretest	-,744	,063	-,678	-11,416	,000

Tabelle 11.7.3

Regressionsanalyse Pretest / Lernzuwachs

Modell	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
1	,679	,462	,458	,45307

12 Zusammenfassung der Ergebnisse

Diese Studie untersuchte den Effekt einer Unterrichtseinheit in Gestaltung drei verschiedener Unterrichtsformen (Realexperiment, Virtuelles Experiment & Arbeitsblätter) auf Lernen und Motivation. Bezüglich des Lernens wurde vorab das Vorwissen (Pretest) überprüft sowie nach der Unterrichtseinheit der Lernerfolg (Posttest). Der Lernzuwachs entsprach der Differenz von Post- und Pretest. Die Motivation wurde auf die Merkmale Interesse, Nichtinteresse und selbstbestimmte Motivation untersucht. Des Weiteren wurde der Zusammenhang zwischen Lernen und Motivation für diese Unterrichtseinheit sowie von Vorwissen auf Lernerfolg und Lernzuwachs ermittelt.

Um für die Diskussion (s. Kap. 13) einen besseren Überblick zu erhalten, erfolgt nun eine Zusammenfassung über die Ergebnisse.

12.1 Zusammenfassung der Ergebnisse der Wissenstests

Pretest

Die Ergebnisse der drei Versuchsgruppen fielen beim Pretest gleich aus, es ließen sich keine signifikanten Unterschiede beim Vorwissen feststellen. Dies entsprach den Erwartungen, da die SuS dieses Thema bisher nur auf Sekundarstufe I Niveau in der Jahrgangsstufe 9 geringfügig kennengelernt hatten und ihnen somit das Fachwissen entsprechend der Abituranforderungen zu diesem Zeitpunkt gefehlt haben müsste.

Für diese Untersuchung konnte anhand dieses Ergebnisses folglich gesagt werden, dass aufgrund der gleichen Ausgangsvoraussetzungen die Ergebnisse des Posttests und des Lernzuwachs problemlos miteinander verglichen werden konnten.

Posttest

Die Ergebnisse des Posttests bezogen auf die drei Versuchsgruppen fielen teilweise unterschiedlich aus. Die Versuchsgruppen Realexperiment und Virtuelles Experiment schnitten deutlich besser ab als die Kontrollgruppe. So unterschieden sich die Ergebnisse der Kontrollgruppe von denen des Realexperiments höchst signifikant und die Ergebnisse der Kontrollgruppe von den Werten der Versuchsgruppe des Virtuellen Experiments sehr signifikant. Die Ergebnisse von Realexperiment und Virtuellen Experiment wichen nicht voneinander ab. Die Effektstärken waren für den Unterschied zwischen der Kontrollgruppe

und dem Realexperiment und für den Unterschied zwischen Kontrollgruppe und Virtuellem Experiment mittel.

Lernzuwachs

Die Ergebnisse beim Lernzuwachs waren relativ ähnlich zu den Ergebnissen des Posttest (s. Tab. 11.3.2). Die Unterschiede zwischen den Ergebnissen von Kontrollgruppe und Realexperiment fielen höchst signifikant und zwischen Kontrollgruppe und Virtuellem Experiment sehr signifikant aus. Zwischen Realexperiment und Virtuellem Experiment ließ sich erneut kein signifikanter Unterschied feststellen (s. Tab, 11.3.4). Die Effektstärken waren entsprechend den Ergebnissen des Posttests.

Fazit der Ergebnisse der Wissenstests

Insgesamt konnte man feststellen, dass die vorliegenden Ergebnisse repetitiv waren. Die Ergebnisse des Realexperiments wiesen keine signifikanten Differenzen zu den Ergebnissen des Virtuellem Experiments auf. Allerdings unterschieden sich die Ergebnisse beider Versuchsgruppen sehr oder höchst signifikant zu den Ergebnissen der Kontrollgruppe.

12.2 Zusammenfassung der Ergebnisse zur Motivation

Mit der zweiten Untersuchungsfrage „Beeinflusst die Unterrichtsmethode die Motivation unterteilt in Interesse, Nichtinteresse und selbstbestimmte Motivation?“ sollte herausgefunden werden, in welchem Maße sich die verschiedenen Unterrichtsformen auf die Motivation der SuS auswirkten. Dabei wurde vermutet, dass das Realexperiment bezogen auf die jeweilige Motivationsart (Interesse, Nichtinteresse und selbstbestimmte Motivation) die höchsten Motivationswerte erzielte und die Kontrollgruppe die niedrigsten Werte erhalten würde.

Interesse

Bei den Ergebnissen der Versuchsgruppen zum Interesse schnitt das Realexperiment am besten ab, gefolgt von den Ergebnissen der Versuchsgruppe des Virtuellen Experiments. Die Ergebnisse zum Interesse der Kontrollgruppe fielen deutlich geringer aus (s. Abb. 11.4.1.1). Dabei waren die Ergebnisse zum Interesse von der Kontrollgruppe höchst

signifikant geringer als die von den Versuchsgruppen des Virtuellen Experiments und des Realexperiments. Die Werte zum Interesse von den Versuchsgruppen Virtuelles Experiment und Realexperiment unterschieden sich nicht signifikant. Die Effektstärken für die beiden Unterschiede fielen groß aus.

Nichtinteresse

Die Ergebnisse zum Nichtinteresse fielen entgegengesetzt zu den Ergebnissen zum Interesse aus. Auch hier waren die Werte der Versuchsgruppen Virtuelles Experiment und Realexperiment zueinander nicht signifikant unterschiedlich, wohingegen die Ergebnisse zum Nichtinteresse der Kontrollgruppe sich zu den anderen beiden Versuchsgruppen höchst signifikant unterschieden. Auch hier konnten jeweils große Effektstärken berechnet werden. Die Ergebnisse zum Nichtinteresse sind somit diametral zu denen des Interesses.

Selbstbestimmte Motivation

Bei der selbstbestimmten Motivation fielen die Ergebnisse der Versuchsgruppen des Virtuellen Experiments und des Realexperiments ebenfalls sehr ähnlich aus; diese beiden hatten deutlich höhere Werte zur selbstbestimmten Motivation als die Ergebnisse zur Kontrollgruppe. Insgesamt fielen diese Unterschiede höchst signifikant aus. Die Effektstärke fielen beide mittel aus.

Fazit der Ergebnisse zur Motivation

Auch bei den Ergebnissen zu den drei Motivationsarten wurden Gemeinsamkeiten festgestellt: Bei allen drei Untersuchungen zur Motivation fielen die Ergebnisse des Realexperiments und des Virtuellen Experiments positiver aus als die der Kontrollgruppe. Dabei konnten höchst signifikante Unterschiede der Ergebnisse der Kontrollgruppe zu den beiden anderen Versuchsgruppen, die an der Durchführung mit Experimentanteil teilgenommen hatten, ermittelt werden. Zwischen den Ergebnissen der Versuchsgruppen Realexperiment und Virtuelles Experiment ließen sich jedoch durchgängig keine signifikanten Unterschiede ausmachen. Die Effektstärken fielen mindestens mittel aus.

12.3 Zusammenfassung der Ergebnisse der Korrelationen zu Lernen und Motivation

In dieser Studie wurden die Ergebnisse der Wissenstests mit den Ergebnissen aus dem Motivationsfragebogen miteinander korreliert, um herauszufinden, ob sich ein Zusammenhang zwischen den Motivationsarten (Interesse, Nichtinteresse und selbstbestimmte Motivation) und Lernerfolg bzw. Lernzuwachs feststellen ließ. Es ist unklar, welche anderen von der Motivation unabhängigen Faktoren die Ergebnisse ebenfalls beeinflussten.

Insgesamt hatten die drei Korrelationen, bei der die Ergebnisse der verschiedenen Motivationsarten in Abhängigkeit zum Posttest gesetzt wurden, mittlere Korrelationsstärken. Die Korrelation von Nichtinteresse und Posttest hatte hierbei eine negative mittlere Korrelationsstärke. Dabei waren sämtliche Korrelationen zum Posttest höchst signifikant.

Für die drei Korrelationen zwischen den Ergebnissen der unterschiedlichen Motivationsarten und denen des Lernzuwachses ließ sich durchweg eine etwas geringere Korrelationsstärke feststellen als beim Posttest, die allesamt einen geringen Effekt aufwiesen. Entsprechend der Korrelation zwischen Nichtinteresse und Posttest ließ sich auch bei der Korrelation zwischen dieser Motivationsart und dem Lernzuwachs ein negativer Zusammenhang feststellen. Die Signifikanzen waren allesamt etwas geringer und lagen auf dem 0,01 oder 0,05 Niveau.

12.4 Zusammenfassung der Ergebnisse der Korrelations- bzw. Regressionsanalyse von Vorwissen zu Lernerfolg bzw. Lernzuwachs

Für die vierte Untersuchungsfrage (s. Kap. 5) sollte herausgefunden werden, ob und welchen Einfluss das Vorwissen (Pretest) auf den Lernerfolg (Posttest) bzw. den Lernzuwachs ausübte.

Die erste Analyse, die den Zusammenhang der Ergebnisse des Pretests mit den Ergebnissen des Posttests ermittelte, zeigte, dass das Vorwissen den Lernerfolg höchst signifikant beeinflusste. Dabei wurde ein Korrelationskoeffizient von 0,276 berechnet. Der positive Zusammenhang besagte, dass je größer das Vorwissen war, desto größer fiel der Lernerfolg aus. Dieses Ergebnis besaß eine geringe Effektstärke. Bei der Regressionsanalyse wurden die Auswirkungen des Vorwissens auf den Lernzuwachs

berechnet. Hierbei kam heraus, dass es einen sehr großen negativen Zusammenhang zwischen der Menge des Vorwissens und des Lernzuwachs für diese Unterrichtseinheit gab. Dieses Ergebnis war ebenfalls höchst signifikant und besaß zudem einen sehr großen Effekt. Insgesamt ließ sich für diese Unterrichtseinheit feststellen, dass je mehr Vorwissen bei den SuS gemessen wurde, desto geringer fiel der Lernzuwachs aus.

V. AUSWERTUNG UND AUSBLICK

13 Diskussion

Im Kapitel zur Diskussion sollen die Ergebnisse und die Untersuchungsfragen diskutiert werden (s. Kap. 13.1). Daran anknüpfend sollen die methodischen und inhaltlichen Grenzen dieser Forschungsstudie (s. Kap. 13.2) erörtert werden. Folgend werden die theoretische und praktische Relevanz der Ergebnisse (s. Kap. 13.3) besprochen. Zum Abschluss wird ein Resümee und Ausblick auf Folgeuntersuchungen und weiterführende Forschungsfragen (s. Kap. 13.4) vorgestellt.

13.1 Diskussion der Ergebnisse unter Berücksichtigung der Untersuchungsfragen

Untersuchungsfrage 1

Unterscheiden sich Lernerfolg und Lernzuwachs bezogen auf Faktenwissen und inhaltliches Verständnis bei den Unterrichtsformen (Realexperiment, Virtuelles Experiment, Kontrollgruppe)?

Hypothese zur Untersuchungsfrage 1

Beide Unterrichtsformen mit Experiment werden im Vergleich zur Kontrollgruppe ein besseres Ergebnis beim Lernerfolg und Lernzuwachs erzielen. Vermutlich können beim Realexperiment der größte Lernerfolg sowie der größte Lernzuwachs ermittelt werden.

Anhand der Ergebnisse bzgl. des Lernerfolgs und des Lernzuwachs wurde die Hypothese der ersten Untersuchungsfrage teilweise bestätigt. Bei den Unterrichtsformen mit Experimentanteil (Realexperiment und Virtuelles Experiment) konnte bei den SuS ein deutlich größeres deklaratives Wissen gemessen werden als bei der Kontrollgruppe, die sich die Unterrichtsinhalte über Arbeitsblätter erarbeitete. Die Ergebnisse des Posttests von Realexperiment und Virtuellem Experiment waren nicht signifikant unterschiedlich.

Da die Ergebnisse des Pretests bei den drei Versuchsgruppen ohne signifikanten Unterschied ausgefallen sind und der Lernzuwachs aufgrund der Rasch-skalierten Daten eine Differenz von Post- und Pretest ist, sind repetitive Ergebnisse beim Lernzuwachs entsprechend des Posttests zu erwarten gewesen.

Insgesamt gibt es nur wenige Studien, die ein ähnliches Forschungsdesign besitzen. Ajredini et al. (2014) haben eine sehr ähnliche Forschungsarbeit in der Physikdidaktik zur elektrostatischen Aufladung mit Oberstufen-SuS dreier Gymnasien aus Mazedonien durchgeführt. In dieser Untersuchung zum inhaltlichen Verständnis gab es ebenfalls ein Realexperiment, ein Virtuelles Experiment und eine Kontrollgruppe. Die Versuchsgruppen besaßen Stichprobengrößen von $n = 86$ (Realexperiment), $n = 81$ (Virtuelles Experiment) und bei $n = 58$ (Kontrollgruppe). Die Gruppengröße bei den Versuchen unterschied sich, beim Realexperiment arbeiteten sechs SuS zusammen, wohingegen die SuS der Versuchsgruppe des Virtuellen Experiments die Aufgaben zu zweit absolvierten. Dies lag am begrenzten Material für die Realexperimente. Die Ergebnisse der Studie zeigten keine signifikanten Unterschiede beim Lernerfolg zwischen Realexperiment und Virtuellem Experiment, jedoch schnitt die Kontrollgruppe bzgl. des Lernerfolgs signifikant schlechter ab als die beiden anderen Versuchsgruppen ab. Dies entspricht auch den Ergebnissen anderer Forschungsarbeiten (z.B. Stolz & Erb, 2011 (Physikdidaktik); Kodejška et al., 2015 (Physikdidaktik)), die jedoch ohne Kontrollgruppe arbeiteten.

In einer anderen Studie (Winkelmann et al., 2014 (Chemiedidaktik)) führten acht Highschool-SuS (San Antonio, Texas, USA) drei Chemieexperimente in einer virtuellen Darstellung durch. Der anschließende Test wurde mit Ergebnissen von vorherigen Realexperimenten bzgl. des Lernzuwachses verglichen, auch hier zeigten sich keine signifikanten Leistungsunterschiede.

Es gibt aber auch Studien, in denen die Computersimulation zu besseren Ergebnissen führt (z.B. Schmekel, 2009 (Physikdidaktik); Finkelstein et al., 2005 (Physikdidaktik)). Bei den beiden Studien aus der Physikdidaktik wird vermutet, dass die SuS während der Versuchsdurchführung Messfehler gemacht hatten, die zu Verständnisschwierigkeiten geführt hatten.

Eine weitere Studie, die die Ergebnisse dieser Forschungsarbeit stützen, ist die Studie von Liu & Su (2013) aus der Physikdidaktik. Sie untersuchte den Lernerfolg bei taiwanesischen Highschool-SuS zum Lerninhalt elektrische Schaltungen. Dabei wurden zwei Gruppen gebildet ($n = 83$ bzw. 86), die sich den Lerngegenstand mittels eines Virtuellen Experiments bzw. klassisch mit Arbeitsblättern und Vorführversuch aneignen sollten. Im Anschluss an die Lerneinheit schnitt die Gruppe des Virtuellen Experiments beim Lerntest höchst signifikant besser ab als die Kontrollgruppe.

Somit zeigt die Forschungslage, dass es möglich ist, mit Virtuellen Experimenten genauso erfolgreich lernen zu können, wie mit Realexperimenten. Allerdings wird in einer Metaanalyse von Ma und Nickerson (2006), die insgesamt 60 Veröffentlichungen zur Thematik Lernen mit Experimenten, Computersimulationen oder nichtexperimentelles Lernen untersuchte, kritisiert, dass es insgesamt nur sehr wenige Studien gibt, die Lernergebnisse von Computersimulationen und Realexperimenten im Vergleich testen und dabei meistens nur kleine Stichproben verwenden, sodass die Forschungsergebnisse nur geringe Aussagekraft besitzen. Man könnte hier weiter kritisieren, dass bei manchen Studien die Versuchsgruppen aus unterschiedlichen Schulen stammen und somit verschiedene Eingangsvoraussetzungen vorherrschen (z.B. Ajredini et al., 2014 (Physikdidaktik)).

Wie schon erwähnt, fielen die Ergebnisse beim Posttest und beim Lernzuwachs für die beiden Experimentversionen sehr ähnlich und deutlich besser als bei der Kontrollgruppe aus. Dies könnte unter anderem daran liegen, dass die Arbeitsweisen in den experimentellen Unterrichtseinheiten ebenfalls sehr ähnlich waren. Sowohl beim Realexperiment als auch bei dem Virtuellen Experiment konnte das problemorientierte und Forschende Lernen besser umgesetzt werden als in der Arbeitsblattversion der Kontrollgruppe. Auch bei der Durchführung mussten in beiden Unterrichtsformen die Parameter der Geräte am Computer eingestellt werden. Insgesamt wurden auch Prozesse (z.B. Bidirektionalität) und Experimentiermethoden durch Simulationen beim Realexperiment und beim Virtuellen Experiment besser veranschaulicht als in der Arbeitsblattversion, sodass dies ebenfalls zu den besseren Ergebnissen im Vergleich zur Kontrollgruppe beigetragen haben müsste.

Die Unterschiede zwischen Computersimulation und Realexperiment waren anscheinend nicht so gravierend, dass sich diese auf das kognitive Lernergebnis auswirkten. So könnte einer der Hauptunterschiede, dass man theoretisch unendlich viele Nervensignale beim Realexperiment ableiten könnte, keine Auswirkungen auf die Lernergebnisse gehabt haben, da aufgrund der begrenzten Zeit die SuS im Realexperiment nicht unbedingt viel mehr Messungen aufgestellt haben, als im Virtuellen Experiment vorhanden waren. Aufgrund der idealen Messaufnahmen im Virtuellen Experiment könnte es für die SuS auch leichter gewesen sein, diese auszuwerten, da im Vergleich hierzu in der Versuchsgruppe des Realexperiments nicht alle Zweierteams über die gesamte Versuchszeit schöne Nervensignalaufnahmen erstellen konnten. Gleichzeitig wurden

Prozesse mit Hilfe von Simulationen veranschaulicht, die vermutlich für ein besseres Verständnis in der Gruppe, die das Virtuelle Experiment durchgeführt hat, gesorgt haben (z.B. Auslösung, Entstehung und Messung von Aktionspotenzialen). Dies könnte dazu geführt haben, dass diese Gruppe die Teilversuche besser verstanden hat, welches sich positiv auf das Lernergebnis ausgewirkt haben könnte.

Nichtsdestotrotz schnitt das Virtuelle Experiment nicht signifikant besser ab als das Realexperiment. Vielleicht liegt das daran, dass Ablauf und Darstellung dem Realexperiment doch sehr ähnlich waren.

In dieser Studie wurde von den SuS ein Unterrichtsthema, welches so inhaltlich im Zentralabitur in NRW abgefragt werden könnte (Kernlehrplan, 2014), durchgeführt. Insgesamt sind sowohl die SuS der Versuchsgruppe des Realexperimentes als auch die SuS der Versuchsgruppe des Virtuellen Experimentes auf die Inhalte zur „Reizaufnahme und Erregungsleitung“ gut vorbereitet worden. Die TeilnehmerInnen der Versuchsgruppe des Realexperiments werden andere weiterführende Kompetenzen und Erkenntnisse gewonnen haben (z.B. prozessorientierte und handlungsorientierte Kompetenzen), die in dieser Studie allerdings nicht gemessen wurden.

Auf Basis der Ergebnisse dieser Studie und in Übereinstimmung mit anderen Untersuchungen (z.B. Stolz & Erb, 2011; Ajredini et al., 2014; Kodejška et al., 2015) kann angenommen werden, dass bei einer didaktisch und methodisch gut ausgearbeiteten Computersimulation ein ähnliches Fachwissen erzielt werden kann, wie bei einem Realexperiment.

Untersuchungsfrage 2

Beeinflusst die Unterrichtsform die Motivation unterteilt in Interesse, Nichtinteresse und selbstbestimmte Motivation?

Hypothese zur Untersuchungsfrage 2

Die SuS, die die Unterrichtseinheit in den Experimentversionen absolvieren, werden höhere Motivationswerte erzielen als die Kontrollgruppe. Dabei werden die SuS der Unterrichtseinheit des Realexperimentes ein größeres Interesse und eine größere selbstbestimmte Motivation sowie ein geringeres Nichtinteresse zeigen als die SuS, die die Unterrichtseinheit in Form des Virtuellen Experiments durchliefen.

Die Hypothese zur Untersuchungsfrage 2 kann nur zum Teil bestätigt werden. Die Ergebnisse bestätigen, dass die Unterrichtseinheiten mit dem Realexperiment und mit dem Virtuellen Experiment deutlich bessere Motivationswerte erzielten als die Kontrollgruppe. Dies gilt für sämtliche Motivationsarten. Allerdings schnitt das Realexperiment für sämtliche Motivationsarten nicht besser ab als das Virtuelle Experiment. Hier waren keine signifikanten Unterschiede messbar.

Dass Computersimulationen dazu befähigt sind, motivierend auf Lernprozesse einzuwirken, ist vielseitig untersucht worden (z.B. Keller & Suzuki, 2004; Hung et al., 2013; Wyss et al., 2014). Dies gilt ebenso für Realexperimente (z.B. Steigert & Schrenk, 2012 (Biologiedidaktik)). Allerdings gibt es auch Forschungsbeiträge, die diesen Studien widersprechen (z.B. Reinhold, 1997). Dies gilt insbesondere dann, wenn SuS ohne Verständnis die Versuchsinstruktionen „abarbeiten“ und somit keine Eigenständigkeit und Kompetenz erleben (Reinhold, 1997). Folglich fehlen die grundlegenden Voraussetzungen für den Entstehungsprozess von Motivation (Deci & Ryan, 1993).

Die Untersuchung von Stolz & Erb (2011), die virtuelle und reale Experimentiersituationen in gelenkter und geöffneter Version bei SuS der Jahrgangsstufe 8 (Realschule) untersuchten, zeigte hinsichtlich des Flow-Erlebens einen signifikanten Unterschied, der positiv für die Versuchsgruppe offenes Realexperiment ausfiel. Allerdings konnte kein signifikanter Unterschied zwischen Virtuellem Experiment (geöffnet) und Realexperiment (gesteuert) bzgl. der Motivation festgestellt werden.

Insgesamt gibt es kaum Forschungsstudien, in denen Motivation sowohl bei einem Realexperiment als auch bei einem Virtuellen Experiment mit einer Kontrolle in Form einer Selbstlerneinheit untersucht und verglichen wurden.

Dass in dieser Untersuchung die Kontrollgruppe deutlich schlechtere Werte zu den drei Motivationsarten erzielt hatte, liegt vermutlich daran, dass diese Versuchsgruppe keine Veränderung zu ihrer üblichen Unterrichtsgestaltung wahrgenommen hatte. Unterricht mit Arbeitsblättern ist auch in Selbstlernphasen für SuS eine gängige Praxis. Methodenwechsel gehört nicht umsonst zu den Merkmalen guten Unterrichts. Er wirkt sich im Allgemeinen positiv auf Interesse und Motivation aus (Meyer, 2004).

Da die Unterrichtseinheiten Realexperiment und Virtuelles Experiment in einem Versuchsraum der Universität zu Köln durchgeführt werden mussten, gab es hier eine Veränderung in der Räumlichkeit und auch eine Unterbrechung im Unterrichtsalltag. Dies war eine organisatorische Notwendigkeit, die sich möglicherweise unabhängig von der Unterrichtseinheit positiv auf die Motivation der beiden Versuchsgruppen auswirkten (z.B.

Glowinski, 2007 (Biologiedidaktik); Guderian, 2007 (Physikdidaktik); Pawek, 2009 (Physikdidaktik)). Aufgrund der benötigten apparativen Ausstattung für das reale Experiment konnte dieses nicht in die Schule verlagert werden. Für eine bessere Vergleichbarkeit wurde deshalb auch das Virtuelle Experiment an der Universität durchgeführt. Die Kontrollgruppe hätte zwar ebenfalls eine „Exkursion“ in die Universität unternehmen können, dies wurde allerdings aufgrund der Unterrichtsgestaltung in Form von Arbeitsblättern als stark demotivierend eingeschätzt. Deshalb fand der Unterricht der Kontrollgruppe im normalen Schulalltag statt, da so keine erhöhte Erwartungshaltung aufgebaut wurde.

Da Kompetenz- und Autonomie-Erfahrungen wichtige Voraussetzungen für den Aufbau von Motivation darstellen und zu den Grundbedürfnissen gezählt werden, sind diese beiden Faktoren notwendig, um Motivation zu erleben (Deci & Ryan, 1993; 2000). Gerade beim Forschenden Lernen in der Unterrichtsform Experimentieren werden diese Erfahrungen insbesondere bei Selbstlerneinheiten deutlich intensiver gemacht (Bruner, 1981). Dies gilt allerdings nur solange der Schwierigkeitsgrad der Aufgaben angemessen, also herausfordernd und nicht überfordernd ist (Krosnick, 1999). Aufgrund der berechneten Itemschwierigkeit, wird davon ausgegangen, dass die untersuchte Unterrichtseinheit einen angemessenen Schwierigkeitsgrad besaß. Die teilnehmenden SuS der Experimentversionen hatten sich zudem als kompetenter und selbstbestimmter wahrgenommen als die SuS der Kontrollgruppe, dies würde folglich die erhöhte Motivation erklären.

Auch die Unterschiede in der Gestaltung der beiden Experimentversionen könnten sich womöglich auf die Motivation ausgewirkt haben. Da die Messwerte im Virtuellen Experiment ohne Messfehler und idealisiert erschienen, benötigten die SuS womöglich eine geringere Frustrationstoleranz als eventuell die SuS des Realexperimentes, dies könnte sich für leistungsschwächere SuS günstiger auf ihre Lernmotivation auswirken (Réthy, 2009). Bei leistungsstärkeren SuS hingegen könnte dies zu einem Absinken ihrer erlebten Kompetenz in den Bereichen Fachwissen und Methodik führen, da sämtliche Ergebnisse ohne gefühlte Eigenleistung entstehen. Dies würde sich somit auch negativ auf ihre Lernmotivation auswirken (Deci & Ryan, 1993; 2000). Beim Realexperiment könnte dieser Effekt gegenteilig vorkommen. Das heißt, schwächere SuS könnten vermehrt Frustration empfinden, wohingegen leistungsstärkere SuS vermehrt Kompetenzerfahrungen machen.

Die Möglichkeit eigene Messungen in theoretisch beliebiger Anzahl zu erstellen, müsste sich ebenfalls förderlich auf die Motivation im Realexperiment auswirken, da die SuS hierbei selbstbestimmt arbeiten und ebenfalls ihre Fach- und Methodenkompetenz wahrnehmen. Allerdings kann es auch genau umgekehrt der Fall sein, da hierbei Messfehler vorkommen können oder die SuS anfangs Schwierigkeiten haben könnten, überhaupt Aktionspotenziale auszulösen.

Der Kontakt und die Betreuung des „eigenen“ Versuchstieres beim Realexperiment könnten sich ebenfalls motivationsfördernd auswirken. Die SuS übernehmen gegenüber ihrem Regenwurm Verantwortung und müssen dafür sorgen, dass er nicht austrocknet oder zu feucht wird und dass er weiterhin betäubt in der Regenwurmwanne liegt. Auch hier können die SuS Kompetenzerfahrungen machen (Deci & Ryan, 1993; 2000). Studien haben hier gezeigt, dass der direkte Kontakt mit Versuchstieren bei SuS der Unterstufe motivationsfördernd wirkt; dieser Effekt lässt bei älteren SuS jedoch nach (Sammet et al., 2015). Allerdings kann ein Tier genauso vor allem die intrinsische Motivation der SuS reduzieren, wenn diese sich davor ekeln (Randler et al., 2013).

Den Ergebnissen der drei Motivationsarten der Versuchsgruppen zum Realexperiment und zum Virtuellen Experiment nach zu schließen, gleichen sich die unterschiedlichen Faktoren auf die Motivation aus. Eventuell hätte ein Fragebogen mit mehr als vier Antwortmöglichkeiten ein anderes Ergebnis erzielt, da dies dann womöglich differenzierter gewesen wäre und sich die momentan nicht signifikanten Unterschiede bei den Versuchsgruppen zu den beiden Experimentversionen möglicherweise verschärft hätten.

Nichtsdestotrotz kann auch hier das Fazit gezogen werden, dass eine Computersimulation sinnvoll im Unterricht eingebaut werden kann und diese sich motivierend auf den Lernprozess der SuS auswirkt.

Untersuchungsfrage 3

Beeinflusst die Motivation unterteilt in Interesse, Nichtinteresse und selbstbestimmte Motivation den Lernerfolg und den Lernzuwachs?

Hypothese zur Untersuchungsfrage 3

Die Motivationsarten beeinflussen das Lernen; je höher das Interesse und die selbstbestimmte Motivation bei den SuS gemessen werden, desto größer werden der Lernerfolg und der Lernzuwachs ausfallen. Nichtinteresse wird mit Lernerfolg und Lernzuwachs negativ korrelieren.

Die Hypothese zur Untersuchungsfrage 3 kann voll bestätigt werden. In dieser Forschungsstudie konnten positive Korrelationen bei Interesse und selbstbestimmter Motivation und negative Korrelationen von Nichtinteresse zum Lernerfolg und zum Lernzuwachs ermittelt werden.

Nach Deci & Ryan (1993 & 2000) sind Kompetenzerfahrungen, die (unter anderem mit vorhandenem Wissen) gemacht werden können, Grundvoraussetzungen für Motivation. Auch nach Weiner (1986) kann Motivation in Form von Interesse nur entstehen, wenn Inhalte verstanden wurden. Allerdings gibt es auch gegenteilige Meinungen (z.B. Renninger et al., 2002), bei denen Motivation die Grundvoraussetzung für Lernen darstellt. Aufgrund der Forschungslage ist es unklar, ob Motivation Lernen beeinflusst oder umgekehrt. Unter anderem geht Krapp (1992b) von einer gegenseitigen Beeinflussung aus. Deshalb kann hier nicht von einer einseitigen Beeinflussung gesprochen werden.

Die Ergebnisse der Korrelationen von Lernerfolg und den drei Motivationsarten Interesse, Nichtinteresse und selbstbestimmte Motivation mit Korrelationskoeffizienten von $r = 0,32$ bis $r = 0,37$ passen sehr gut zur Metaanalyse des Zusammenhangs von Motivation und schulischer Leistung von Schiefele et al. (1993). Dort wurden für den Zeitraum von 1965 bis 1990 insgesamt 21 Untersuchungsberichte mit 127 voneinander unabhängigen Korrelationskoeffizienten analysiert. Die ermittelte Durchschnittskorrelation betrug $r = 0,3$. Auch bei Peklaj et al. (2015) wurde diese mittlere Korrelationsstärke ermittelt. In dieser Studie fielen somit sämtliche Korrelationen zum Lernerfolg entsprechend aus, wohingegen die beim Lernzuwachs etwas darunter lagen ($r = 0,16$ bis $r = 0,203$).

Eine mögliche Erklärung für diesen geringeren Zusammenhang wäre, dass hoch motivierte SuS schon hohe Werte im Pretest erreichten, so dass ihr Lernzuwachs insgesamt geringer ausfiel als bei den SuS mit einem geringen Vorwissen. Des Weiteren waren die Unterrichtsmaterialien didaktisch sehr gut aufbereitet. Dies könnte dazu führen, dass vor allem leistungsschwächere SuS davon profitiert haben könnten (z.B. differenzierende Maßnahmen) und sehr motiviert an den Lerngegenstand herangegangen sind. Diese Vermutung gilt jedoch nicht für alle SuS und konnte deshalb nicht statistisch bewiesen werden.

Zusätzlich ist Biologie für viele SuS ein Abiturfach, sodass womöglich mehrere trotz geringerer intrinsischer Motivation sich ein hohes Fachwissen aneignen wollten, um dann bei den Prüfungen gute Leistungen zu erzielen. Diese extrinsische Motivation kann aus diesen Daten nicht abgeleitet werden, da die Fragen zur fremdbestimmten Motivation nicht ausreichend reliabel waren.

Untersuchungsfrage 4

Beeinflusst das Vorwissen den Lernerfolg und den Lernzuwachs?

Hypothese zur Untersuchungsfrage 4

Das Vorwissen beeinflusst den Lernprozess; je ausgebildeter das Vorwissen ist, desto ausgeprägter sind der Lernerfolg und der Lernzuwachs.

Die Hypothese zur vierten Untersuchungsfrage konnte anhand der Ergebnisse für den Lernerfolg im Ganzen bestätigt werden. Je höher die Ergebnisse des Pretests ausgefallen waren, desto besser waren die Ergebnisse beim Lernerfolg.

Dies entspricht auch der Forschungsstudie von Peklaj et al. (2015), bei der unter anderem der Einfluss des Vorwissens auf die Mathematiknote ermittelt wurde. Das Ergebnis von $r = 0,31$ ist dem hiesigen Ergebnis ($r = 0,276$) ähnlich. Weitere unterstützende Ergebnisse lassen sich bei Bong (2005) und bei Trautwein et al. (2009) finden.

Diese Ergebnisse sind nicht besonders überraschend, da man, um neues Wissen aufzubauen, unter anderem neue Gehirnstrukturen bilden muss und diese mit den schon

vorhandenen Gehirnstrukturen synaptische Verknüpfungen eingehen müssen (Spitzer, 2009). Da üblicherweise in semantischen Netzwerken gelernt wird, ist es dementsprechend einfacher, neues Wissen in schon vorhandene Bedeutungszusammenhänge zu integrieren (Brand & Markowitsch, 2009; Spitzer, 2009). Vorwissen besitzt somit eine grundlegende Bedeutung für den Lernprozess (Edmondson, 2005).

Für den Lernzuwachs kann diese Hypothese jedoch so nicht bestätigt werden. Hier wurde ein großer negativer Zusammenhang ermittelt, für den gilt, je mehr Vorwissen die SuS hatten, desto geringer fiel der Lernzuwachs bei dieser Unterrichtseinheit aus.

Bäumert et al. (2012) sind der Meinung, dass es bei SuS mit guten Voraussetzungen häufiger zu negativen Zusammenhängen von Ausgangswissen zu Lernzuwachs kommt als durch den Matthäus-Effekt³⁵. Die vorgestellten Studien beziehen sich allerdings auf Untersuchungen von SuS im Grundschulalter und analysierten einen längeren Zeitraum (teilweise bis zur Oberstufe). Somit sind sie nur begrenzt auf diese Forschungsergebnisse übertragbar.

Dass die SuS in dieser Arbeit bei einem ausgeprägten Vorwissen meist einen geringeren Lernzuwachs zu verzeichnen hatten, liegt womöglich daran, dass die SuS in dieser Unterrichtseinheit ein begrenztes Wissen erlangen konnten und nur zum Teil ihr neu erlerntes Wissen im Posttest abgefragt wurde.³⁶ Andere SuS hingegen, die im Pretest mit einer geringeren Leistung abgeschnitten hatten, konnten im Posttest dementsprechend einen größeren Lernzuwachs erreichen. Dies war anscheinend in dieser Untersuchungsstudie der Fall. Insgesamt gilt dieses Ergebnis jedoch nur für diese Unterrichtseinheit. Bei einer zeitlich größeren Studie würden vermutlich andere Ergebnisse herauskommen.

13.2 Methodische und inhaltliche Grenzen dieser Forschungsstudie

In diesem Abschnitt wird auf die methodischen und inhaltlichen Grenzen dieser Forschungsstudie eingegangen, die sich während der Durchführung feststellen ließen. Da das gewählte Unterrichtsthema an diesem Gymnasium kurz vor dem Abitur durchgeführt wurde, konnte keine Follow-up Evaluation erhoben werden. Auch der Unterschied zwischen SuS, die klausurpflichtig waren und an der Vorabiturklausur teilgenommen

³⁵ Aktuelle Erfolge sind mehr durch frühere Erfolge als durch gegenwärtige Leistungen bedingt. Erfolge rufen danach immer neue Erfolge hervor.

³⁶ Der Umfang des Posttest wurde absichtlich nicht weiter ausgebaut, damit die SuS auch bis zur letzten Frage noch ausreichend motiviert waren, diese ordentlich entsprechend ihres Fachwissens zu beantworten.

hätten, gegenüber denen, die keine Klausur zu diesem Thema schreiben müssen, hätten die Follow-up Studie dann beeinflusst. Insgesamt sind die Ergebnisse vermutlich etwas überschätzt, da nach einer gewissen Zeit bei den SuS Aspekte in Vergessenheit geraten sein müssten und dann die Effekte und Ergebnisse bzgl. des Lernens geringer bzw. schlechter ausgefallen wären. Dies sollte berücksichtigt werden.

Des Weiteren könnte die Durchführung im Kursverband einen Effekt auf die Ergebnisse haben. Eine Zufallsverteilung auf die drei verschiedenen Versuchsgruppen konnte jedoch aufgrund der schulischen Rahmenbedingungen nicht durchgeführt werden. So sprachen unterschiedliche Stundenpläne, räumliche und personelle Kapazitäten sowie die Erarbeitung der vorausgesetzten Themen einer gemeinsamen Exkursion entgegen. Somit wird es in den einzelnen Versuchsgruppen möglicherweise einen Gruppeneffekt geben. Dies könnte sich z.B. auf die Lernmotivation auswirken, da z.B. das Gefühl der sozialen Eingebundenheit als eins der drei Grundbedürfnisse gilt und als Voraussetzung für die Entwicklung von Motivation angesehen wird (Deci & Ryan, 1993; 2000). Eine weitere Möglichkeit wäre, dass Lernen in manchen Kursen als sinnvoller als in anderen angesehen wird.

Insgesamt wird hierfür aber angenommen, dass diese Effekte für diese SuS relativ gering sind, da die SuS der drei Versuchsgruppen demselben Klientel entstammen und sowohl insgesamt als insbesondere kurz vor dem Abitur sehr ehrgeizig sind. Des Weiteren wird vermutet, dass der Gruppeneffekt durch die Partnerarbeit verstärkt herausgefiltert wurde, da sich meistens SuS zusammen tun, die sich sympathisch sind und gut miteinander arbeiten können.

Ein weiterer Gesichtspunkt, der hier diskutiert werden soll, ist die vierstufige Likert-Skalierung des Motivationsfragebogens. Bei sämtlichen Ergebnissen schnitt das Realexperiment etwas besser ab als das Virtuelle Experiment. Wären mehr Antwortmöglichkeiten gegeben, hätte dies eventuell zu differenzierteren Ergebnissen geführt. Ob dadurch die Unterschiede hinsichtlich der Motivation bei diesen beiden Versuchsgruppen stärker ausgefallen wären, die somit möglicherweise auch signifikant gewesen wären, lässt sich nicht beantworten. Dies wäre eine spannende weitergehende Untersuchung dieser beiden Unterrichtsversionen.

Zum Abschluss mussten die SuS einen relativ langen Posttest mit offenen Aufgaben ausfüllen. Diese Testlänge war eventuell für manche SuS nach der Unterrichtseinheit etwas ermüdend, da die Motivation bei einigen wenigen SuS zur ausführlichen Beantwortung einiger Fragen nachließ. Dies wird ersichtlich an der Mühe,

die sich die SuS bei der Beantwortung der Fragen gaben. Da aber für alle TeilnehmerInnen der drei Versuchsgruppen die gleichen Bedingungen bei der Beantwortung dieses Tests vorlagen, müsste sich dieser Effekt ausgleichen.

Auf der anderen Seite wären ein paar zusätzliche weiterführende Fragen, mit der ergänzend neues Fachwissen überprüft werden würde, interessant gewesen. Dies hätte eventuell dazu geführt, dass auch SuS mit gutem Vorwissen höhere Ergebnisse beim Lernzuwachs erzielt hätten.

Abschließend können viele weitere Faktoren sich auf die Motivation oder Lernerfolg ausgewirkt haben. So könnte zum Beispiel der Durchführungsort (Universitätslabor versus Biologiefachraum in der Schule) die Motivation mit beeinflusst haben. Die unterschiedlichen Orte, an denen die Versuchsgruppen ihre Selbstlerneinheiten durchgeführt hatten, wurden jedoch absichtlich so gewählt. Eine Unterrichtsform, die nur über Arbeitsblätter absolviert wird, benötigt kein Experimentierlabor und hätte zu einer starken Demotivation dieser Versuchsgruppe geführt. Nichtsdestotrotz könnte der Besuch des Versuchsraums in der Universität die Ergebnisse zur Motivation bei den Versuchsgruppen Realexperiment und Virtuelles Experiment positiv beeinflusst haben. Allerdings wurden die Fragen im Motivationsfragebogen so formuliert, dass sie sich auf die Unterrichtseinheit bezogen. Eine unterbewusste Förderung durch das Ambiente lässt sich dennoch nicht ausschließen.

Auch der Zeitpunkt des Termins der Durchführung der Unterrichtseinheit könnte sich sowohl auf die Lernergebnisse als auch auf die Motivation ausgewirkt haben. So könnten zum Beispiel anstehende Klausuren anderer Fächer dazu führen, dass manche SuS diesen Termin als zusätzliche zeitliche Belastung angesehen haben, andere die demnächst ihre Klausur im Fach Biologie schrieben, diese Unterrichtseinheit eher als positiv angesehen haben. Allerdings muss dies nicht der Fall sein, da manche SuS auch für diese Klausur eher später anfangen zu lernen und solche Termine dann nicht als Bereicherung betrachten.

Da es grundsätzlich schwierig war, einen Termin für den jeweiligen Kurs zu finden, an dem keiner der SuS eine Klausur schrieb oder andere schulische Termine anstanden sowie an dem der Experimentierraum der Universität zur Verfügung stand, wurde der Klausurtermin im Fach Biologie nicht primär berücksichtigt. Für alle drei Versuchsgruppen gilt, dass die Leistungskurs-SuS relativ zeitnah im Anschluss ihre Klausur schrieben, wohingegen bei den SuS der Grundkurse ca. drei Wochen (darin sind zwei Wochen Ferien enthalten) zwischen Unterrichtseinheit und Klausurtermin lag.

Des Weiteren konnten sowohl die derzeit unterrichtenden LuL als auch die aus den vorherigen Schuljahren Effekte auf das Lernverhalten insgesamt als auch auf die grundlegende Motivation zur Schule oder zum Fach Biologie der SuS besitzen. Diese Effekte, die sich möglicherweise auch im Charakter der SuS festgesetzt hat, lassen sich jedoch nicht aus dieser Studie heraus isolieren.

13.3 Theoretische und praktische Relevanz der Ergebnisse

In diesem Abschnitt soll gezeigt werden, welche Bedeutung die Ergebnisse dieser Untersuchung für die Wissenschaft und für den schulischen Alltag besitzen. Mit dieser Studie kann man sagen, dass es möglich ist, dass sich SuS im Fach Biologie mit Computersimulationen ein ähnliches Fachwissen aufbauen können wie mit Experimenten. Dies ist besonders nützlich, wenn die Experimente aufgrund von benötigter Geräteausstattung, Gefahrenpotenzial oder erforderlicher Zeit sonst so in der Schule nicht durchgeführt werden könnten oder würden. Somit könnte es SuS vermehrt ermöglicht werden, fachwissenschaftliche Erkenntnisse und Methoden kennen zu lernen. Ein wissenschaftspropädeutischer Unterricht sollte gerade in der Oberstufe möglichst viel eingesetzt werden. Dies kann SuS eventuell auch eine Berufs- bzw. Studienwahl erleichtern.

Diese Erkenntnisse können auch für die Verwendung vor allem für Fernuniversitäten aber auch allgemein für Bildungszentren oder Hochschulen von Relevanz sein, da Selbstlernversuche in Form von Computersimulationen einen geringeren Betreuungsaufwand bedeuten und kostengünstig sind. Allerdings sollte bedacht werden, dass diese Erkenntnisse nur für die erworbene Fachkompetenz gelten und man beim echten Experimentieren deutlich mehr Methodik erlernt, welche für ein wissenschaftliches Studium Voraussetzung sein sollte.

Des Weiteren wurde gezeigt, dass Vorwissen einen Einfluss auf die Menge und die Komplexität³⁷ des gelernten Stoffes besitzt. Gerade diese Erkenntnis sollte dazu führen, dass in der Schule das Grundwissen in den Vordergrund rückt. Teilweise ist dies jedoch durch die Veränderungen im neuen Kernlehrplan NRW (2014) nicht mehr gegeben, da es einige Themen gibt, die sehr spezifisch sind (z.B. Epigenetik, Omics, Patch-Clamp-Methode) und es auch aufgrund der Stofffülle, die in begrenzter Zeit erarbeitet werden soll, zudem schwierig ist, sinnvolle und intelligente Wiederholungen und Übungen einzubauen.

³⁷ An der Beantwortung der AFB III Aufgaben erkennbar.

Hierzu gibt es sogar zwei der „Zehn Merkmale guten Unterrichts“, die betonen, wie wichtig die echte Lernzeit und die Wiederholung zum Lernen und Verfestigen von Wissensstrukturen sind und diesen Vorgaben widersprechen (Meyer, 2004).

In der heutigen Zeit gilt Interesse als Bildungsziel, um ein lebenslanges Lernen zu ermöglichen. Da Interesse zur Motivation zählt, ist es somit sowohl für sämtliche Lehrende als auch für alle Bildungseinrichtungen bedeutsam, die verschiedenen Motivationsarten bei den Lernenden zu fördern. Insbesondere da Motivation zu Lernergebnissen im Durchschnitt mit $r = 0,3$ positiv korreliert (Schiefele et al., 2003). Deshalb ist es bei der Unterrichtsgestaltung und -durchführung besonders darauf zu achten, dass die SuS die drei Grundbedürfnisse (Kompetenz, Autonomie und soziale Eingebundenheit) erleben können.

13.4 Resümee und Ausblick auf Folgeuntersuchungen und weiterführende Forschungsfragen

Bei der Erarbeitung dieser Untersuchung fallen neue Thematiken auf, deren Erforschung spannend wäre. Wie schon oben erwähnt, wäre eine Untersuchung der Motivationsarten mit einer mehrstufigen, z.B. acht stufigen Likert-Skalierung aufschlussreich, ob diese zu anderen Ergebnissen führen würde, als diese Untersuchung festgestellt hat.

Da die SuS, die an dieser Studie teilgenommen haben, eher dem gutbürgerlichen Klientel zuzuordnen sind, wäre es auch interessant, ob diese Ergebnisse an eine Brennpunktschule übertragbar wären. Falls dies nicht der Fall wäre, wäre zu fragen, wodurch diese Unterschiede entstehen.

Eine weitere mögliche Folgeuntersuchungsfrage wäre, ob es Geschlechtsunterschiede bei dieser Untersuchung hinsichtlich Lernen und Motivation bei den verschiedenen Unterrichtsdurchführungen gibt. Hierzu würde man allerdings eine gleiche Anzahl von weiblichen wie männlichen Versuchspersonen aus den Leistungs- bzw. Grundkursen benötigen. Falls es dann Unterschiede gäbe, wäre es spannend herauszufinden, wodurch diese ausgelöst würden und ob man diese geschlechtsspezifischen Unterschiede reduzieren kann.

Interessant wäre auch, ob bei einer anderen Altersstufe (z.B. aus der Sekundarstufe I) die Ergebnisse dieser Studie entsprechend ausfallen würden. Wäre dies nicht der Fall, wäre es interessant zu erfahren, woran dies läge. Dies würde womöglich das altersgerechte Forschen und Experimentieren im Unterrichtsalltag verbessern.

Eine weitere Idee wäre es, den Einfluss der Medienkompetenz auf die Motivation bzw. den Lernerfolg bei einer oder dieser Computersimulation zu testen. Auch diese Untersuchung könnte dann auf geschlechtsspezifische Unterschiede überprüft werden.

Zum Abschluss dieser Arbeit soll noch mal ein Blick zur Unterrichtspraxis gezogen werden: Die Begeisterung und der Wissensdrang von SuS jeglichen Alters gegenüber naturwissenschaftlichen Themen gilt es fortzusetzen und mit positiven Lernerfahrungen zu fördern und weiter auszubauen. Das zu erreichen, ist keine einfache, aber doch eine lösbare Aufgabe.

14 Literaturverzeichnis

14.1 Zeitschriften

- ADAMS, G. L. (1992). "Why Interactive?" *Multimedia & Videodisc Monitor*, 10(3), 20-25.
heruntergeladen am 23.09.2015 von:
<http://www.gregonlearning.com/pdfs/WhyInt4.pdf>
- AJREDINI, F., IZAIRI, N., ZAJKOV, O. (2014). Real Experiments versus Phet Simulations for Better High-School Students' Understanding of Electrostatic Charging. *European Journal of Physics Education*, 5(1), 59-70.
- ARNOLD, G. (2000). Genetik interaktiv: Mendel-Genetik mit Unterstützung des Computers – Unterrichtsreihe für die Sekundarstufe I. *Praxis der Naturwissenschaften*, 49(1), 15-25.
- BÄUMERT, J., NAGY, G., LEHMANN, R. (2012). Cumulative Advantages and the Emergence of Social and Ethnic Inequality - Matthew Effects in Reading and Mathematics Development Within Elementary Schools? *Child Development*, 8(4), 1347–1367.
- BAUER, F. (2014). Aktionspotenziale beim Regenwurm – ein virtuelles Experiment. *Praxis der Naturwissenschaften – Biologie in der Schule*, 63(4), 18-24.
- BERGIN, D. (1999). Influences on classroom interest. *Educational Psychologist*, 34(2), 87-98.
- BONG, M. (2005). Within-grade changes in Korean girls' motivation and perceptions of the learning environment across domains and achievement levels. *Journal of Educational Psychology*, 97(4), 656-672.
- BREUER, K., KUMMER, R. (1990). Cognitive effects from process learning with computer-based simulations. *Computers in Human Behavior*, 6(1), 69-81.
- CORTINA, J. M. (1993). What is Coefficient Alpha? An Examination of Theory and Applications. *Journal of Applied Psychology*, 78(1), 98-104.
heruntergeladen am 18.11.2015 von:
<https://helenagmartins.files.wordpress.com/2014/04/cortina-1993-what-is-coefficient-alpha-an-examination-of-theory-and-applications.pdf>
- CRONBACH, L. (1951). Coefficient Alpha and the Internal Structure of Tests. *Psychometrika*, 16(3), 297-334.
heruntergeladen am 18.11.2015 von:
http://psych.colorado.edu/~carey/courses/psyc5112/readings/alpha_cronbach.pdf
- CSIKSZENTMIHALYI, M., SCHIEFELE, M. (1993). Die Qualität des Erlebens und der Prozess des Lernens. *Zeitschrift für Pädagogik*, 39(2), 207-221.

- DECI, E. L., RYAN, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik*, 39(2), 223-238.
- DECI, E. L., RYAN, R. M. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American Psychologist*, 55(1), 68-78.
heruntergeladen am 12.07.2015 von:
https://home.ubalt.edu/tmitch/641/deci_ryan_2000.pdf
- DIDION, D., WIEMER, M. (2009). Forschendes Lernen als interdisziplinäres Element des Studiums Fundamentale. *Journal Hochschuldidaktik - Forschendes Lernen: Perspektiven eines Konzept*, TU Dortmund, 20(2), 7-9.
- ENGELN, K., EULER, M. (2004). Forschen statt Pauken, Aktives Lernen in Schülerlaboren. *Physik Journal*, 3(11), 45-48.
- FINKELSTEIN, N. D., ADAMS, W. K., KELLER, C. J., KOHL, P. B., PERKINS, K. K., PODOLEFSKY, N. S., REID, S. (2005). When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, 1(1), 010103, 1-8.
- FRADD, S. H., LEE, O., SUTMAN, F. X., SAXTON, M., KIM, M. (2015). Promoting Science Literacy with English Language Learners Through Instructional Materials Development: A Case Study. *Bilingual Research Journal*, 25(4), S. 417-439.
heruntergeladen am 22.05.2016 von:
https://www.researchgate.net/profile/Kim_Saxton/publication/265116402_Promoting_Science_Literacy_with_English_Language_Learners_Through_Instructional_Materials_Development_A_Case_Study/links/546f6cf60cf216f8cfa9dcc9.pdf?inViewer=0&pdfJsDownload=0&origin=publication_detail
- GRÄSEL, C., BRUHN, J., MANDL, H., FISCHER, F. (1997). Lernen mit Computernetzen aus konstruktivistischer Perspektive. *Unterrichtswissenschaft*, 25, 4-18.
- GUDERIAN, P., PRIEMER, B. (2008). Interessenförderungen durch Schülerlaborbesuche: Eine Zusammenfassung der Forschung in Deutschland. *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 2(7), 27-36.
- GÜNTHER, J. (1976). Impulse conduction in the myelinated giant fibers of the earthworm. Structure and function of the dorsal nodes in the median giant fiber. *The Journal of comparative Neurology*, 168(4), 505-531.
- HEINZEL, H.-G. (1990). Das Experiment: Neurophysiologische Versuche im intakten Regenwurm. *Biologie in unserer Zeit*, 20(6), 308-313.
- HIDI, S. (1990). Interest and its contribution as a mental resource of learning. *Review of Educational Research*, 60(4), 549-571.

- HUBER, L. (1970). Forschendes Lernen: Bericht und Diskussion über ein hochschuldidaktisches Prinzip. *Neue Sammlung*, 10(3), 227-244.
heruntergeladen am 22.05.2016 von:
<https://pub.uni-bielefeld.de/download/1781678/2313418>
- HUNG, I.-C., CHAO, K.-J., LEE, L., CHEN, N.-S. (2013). Designing a robot teaching assistant for enhancing and sustaining learning motivation. *Interactive Learning Environment*, 21(2), 156–171.
- JONG, T. de, JOOLINGEN, W. R. van (1998). Scientific Discovery Learning with Computersimulations of Conceptual Domains. *Review of Educational Research*, 68, 179–201.
- KELLER, J., SUZUKI, K. (2004). Learner motivation and e-learning design - A multinationally validated process. *Journal of Educational Media*, 29(3), 229-239.
- KODEJŠKA, C., DE NUNZIO, G., KUBINEK, R., ŘIHA, J. (2015). Low Cost Alternatives to Commercial Lab Kits for Physics Experiments. *Physics Education*, 50(5), 597-607.
- KRAPP, A. (1998). Entwicklung und Förderung von Interesse im Unterricht. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 44, 185-201.
heruntergeladen am 22.08.2015 von:
<http://www.ernst-reinhardt.de/pdf/peu-krapp.pdf>
- KRAPP, A. (1999). Interest, motivation and learning. An educational-psychological perspective. *European Journal of Psychology of Education*, 14(1), 23-40.
- KRAPP, A. (2003). Die Bedeutung der Lernmotivation für die Optimierung des schulischen Bildungssystems. In: *Politische Studien – Zweimonatszeitschrift für Politik und Zeitgeschehen*, Sonderheft 3/2003 Hanns-Seidel-Stiftung, Atwerb, 95-105.
heruntergeladen am 21.07.2015 von:
http://www.unibw.de/sowi1_1/interesse/pdfneu/03bkrapp
- KRAPP, A., RYAN, R. (2002). Selbstwirksamkeit und Lernmotivation. In: M. Jerusalem, D. Hopf (Hrsg.). *Zeitschrift für Pädagogik. Selbstwirksamkeit und Motivationsprozesse in Bildungsinstitutionen*, Beiheft 44, 54-82.
- KROSNICK, J. A. (1999). Survey Research. *Annual Review of Psychology*, 50, 537-567.
- LIKERT, R. (1932). A Technique for the Measurement of Attitudes. *Archives of Psychology*, 140, 1–55.
- LIU, H.-C., SU, I.-H. (2010). Learning residential electrical wiring through computer simulation: The impact of computer-based learning environments on student achievement and cognitive load. *British Journal of Educational Technology*, 42(4), 598–607.

- MA, J., NICKERSON, J. V. (2006). Hands-on, simulated and remote laboratories - a comparative literature review. *ACM Computing Surveys*, 38(3), 1-24.
- PEKLAJ, C., PODLESEK, A., PEČJAK, S. (2015). Gender, previous knowledge, personality traits and subject-specific motivation as predictors of students' math grade in upper-secondary school. *European Journal of Psychology of Education*, 30, 313-330.
- RANDLER, C., HUMMEL, E., WÜST-ACKERMANN, P. (2013). The Influence of Perceived Disgust on Students' Motivation and Achievement. *International Journal of Science Education*, 35(17), 2839-2856.
- RENNINGER, K. A., EWEN, L., LASHER, A. K. (2002). Individual interest as context in expository text and mathematical word problems. *Learning and Instruction*, 12(4), 467-491.
- RÉTHY, E. (2009). Lernmotivation und Motivationsstörungen. *Theorie und Praxis von Pädagogik*, 1(2), 51-54.
- SAMMET, R., KUTTA, A.-M., DREESMANN, D. (2015). Hands-On or Video-Based Learning with ANTicipation? A Comparative Approach to Identifying Student Motivation and Learning Enjoyment during a Lesson about Ants, *Journal of Biological Education*, 49(4), 420-440.
- SCHIEFELE, U., SCHREYER, I. (1994). Intrinsische Lernmotivation und lernen - Ein Überblick zu Ergebnissen der Forschung. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 8(1), 1-13.
- SCHIEFELE, U., KRAPP, A., SCHREYER, I. (1993). Metaanalyse des Zusammenhangs von Interesse und schulischer Leistung. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 25(2), 120-148.
- SCHNACK, J., TIMMERMANN, U. (2008). Kernkompetenz Selbstständigkeit. *Pädagogik, Thema: Techniken für selbstständiges Arbeiten*, 60(9), 6-9.
- STERN, E., SCHUHMACHER, R. (2004). Lernziel: Intelligentes Wissen. *Universitas, Orientierung in der Wissenswelt*, 59(692), 121-134.
- TENNYSON, R. D., BREUER, K. (2002). Improving problem solving and creativity through use of complex-dynamic simulations. *Computer in Human Behavior*, 18, 650-668.
- TOLMAN, E. C. (1948). Cognitive Maps in Rats and Men. In: *Psychological Review*, 55, 189-208.
- TRAUTWEIN, U., LÜDTKE, O., ROBERTS, B. W., SCHNYDER, I., NIGGLI, A. (2009). Different forces, same consequence - conscientiousness and competence beliefs are independent predictors of academic effort and achievement. *Journal of Personality and Social Psychology*, 97, 1151-1128.

- UPMEIER ZU BELZEN, A., VOGT, H. (2001). Interessen und Nicht-Interessen bei Grundschulkindern – Theoretische Basis der Längsschnittstudie PEIG, *Institut Didaktik Biologie*, 10, 17-31.
- URHAHNE, D. (2008). Sieben Arten Lernmotivation. Ein Überblick über zentrale Forschungskonzepte. *Psychologische Rundschau*, 59, 150-166.
- URHAHNE, D., PRENZEL, M., DAVIER, M. v., SENKBEIL, M., BLESCHKE, M. (2000). Computereinsatz im naturwissenschaftlichen Unterricht – Ein Überblick über die pädagogisch-psychologischen Grundlagen und ihre Anwendung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 6, 157-186.
- WINKELMANN, K., SCOTT, M., WONG, D. (2014). A Study of High School Students' Performance of a Chemistry Experiment within the Virtual World of Second Life. *Journal of Chemical Education*, 91, 1432-1438.
- WYSS, J., LEE, S., DOMINA, T., MacGILLIVRAY, M. (2014). Cotton Island-Students' Learning Motivation Using a Virtual World Decision. *Sciences Journal of Innovative Education*, 12(3), 219–232.

14.2 Monografien

- ANDERSONS, J.-R. (1996). *The architecture of Cognition*. New Jersey: Psychology Press.
- BLUMBERG, E. (2008). Multikriteriale Zielerreichung im naturwissenschaftsbezogenen Sachunterricht der Grundschule: Eine Studie zum Einfluss von Strukturierung in schülerorientierten Lehr-Lernumgebungen auf das Erreichen kognitiver, motivationaler und selbstbezogener Zielsetzungen. Dissertation. Münster: Münster.
- BOONE, W. R., STAVELAND, J. R., YALE, M. S. (2014). *Rasch Analysis in the Human Sciences*. Dordrecht: Springer.
- BORTZ, J. (1993). *Statistik für Sozialwissenschaftler*. (4. Auflage). Berlin: Springer.
- BRANDT, A. (2005). *Förderung von Motivation und Interesse durch außerschulische Experimentierlabors*. Dissertation. Göttingen: Cuvillier.
- COHEN, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale: Erlbaum.
- CSIKSZENTMIHALYI, M. (2000). *Das Flow-Erlebnis: Jenseits von Angst und Langeweile im Tun aufgehen*. (8. Auflage). Stuttgart: Klett-Cotta.
- DUDEL, J., MENZEL, R., SCHMIDT, R. F. (2001). *Neurowissenschaft: Vom Molekül zur Kognition*. (2. Auflage). Berlin: Springer.

- ENGELN, K. (2004). *Schülerlabors: authentische, aktivierende Lernumgebungen als Möglichkeit, Interesse an Naturwissenschaften und Technik zu wecken*. Dissertation. Berlin: Logos.
- FISSENI, H. J. (2004). *Lehrbuch der psychologischen Diagnostik: Mit Hinweisen zur Intervention*. (3 Auflage). Göttingen: Hogrefe.
- FLETCHER, J. D. (1990). *Effectiveness and Cost of Interactive Videodisc Instruction in Defense Training and Education*. Washington DC: Institute for Defense Analyses.
- GERHART-BILLES, E. (2009). *Medienkompetenz von Lehramtsstudierenden: Eine empirische Beobachtung, Analyse und Interpretation der Orientierungs- und Bewertungsschemata von angehenden Lehrkräften*. Dissertation. Göttingen: Cuvillier.
- GLOWINSKI, I. (2007). *Schülerlabore im Themenbereich Molekularbiologie als Interesse fördernde Lernumgebungen*. Dissertation. Kiel. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- GUDERIAN, P. (2007). *Wirksamkeitsanalyse außerschulischer Lernorte: Der Einfluss mehrmaliger Besuche eines Schülerlabors auf die Entwicklung des Interesses an Physik*. Dissertation. Berlin: Humboldt Universität zu Berlin.
- HECKHAUSEN, H. (1074). *Leistung und Chancengleichheit*. Göttingen: Hogrefe.
- HELDMAIER, G., NEUWEILER, G. (2003). *Vergleichende Tierphysiologie: Neuro- und Sinnesphysiologie*. (Band 1). Berlin: Springer.
- HELMKE, A. (2003). *Unterrichtsqualität erfassen, bewerten und verbessern*. Seelze: Kallmeyer.
- KILLERMANN, W., HIERING, P., STAROSTA, B. (2009). *Biologieunterricht heute: Eine moderne Fachdidaktik*. (13. Auflage). Donauwörth: Auer.
- KÖHLER, W., SCHACHTEL, G., VOLESKE, P. (2002). *Biostatistik: Eine Einführung für Biologen und Agrarwissenschaftler*. (3. Auflage) Berlin: Springer.
- KUBINGER, K. D. (2006). *Psychologische Diagnostik*. Göttingen: Hogrefe.
- McCLELLAND, D. C., ATKINSON, J. W., CLARK, R. A., LOWELL, E. L. (1953). *The achievement motive*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- MEYER, H. (1987). *Experimentelles Arbeiten im Biologieunterricht. Ergebnisse einer in Nordrhein-Westfalen durchgeführten Situationsanalyse*. Seelze-Velber: Erhard Friedrich.
- MEYER, H. (2004). *Was ist guter Unterricht*. Berlin: Cornelsen Scriptor.

- NIEGEMANN, H., DOFMAGK, S., HESSEL, S., HEIN, A., HUPFER, M., ZOBEL, A. (2008). *Kompendium multimediales Lernen*. Berlin: Springer.
- NIEGEMANN, H., HESSEL, S., HOCHSCHEID-MAUEL, D., ASLANSKI, K., DEIMANN, M., KREUZBERGER, G. (2004) *Kompendium E-Learning*, Berlin: Springer.
- NOWAK, D. (2010). *Arbeitsmedizin und klinische Umweltmedizin*, (2. Auflage). München: Urban und Fischer.
- OECD (Hrsg.). (2003). *Wie funktioniert das Gehirn? Auf dem Weg zu einer neuen Lernwissenschaft*. Stuttgart: Schattauer.
- PARADIES, L., LINSER, H.-J. (2012). *Differenzieren im Unterricht*. Berlin: Cornelsen Skriptor.
- PASSEY, D., ROGERS, C., with MACHELL, J., McHUGH, G. (2004). *The Motivational Effect of ICT on Pupils*. University of Lancaster, Research Report 523. heruntergeladen am 11.05.2016 von: http://downloads01.smarttech.com/media/research/international_research/uk/lancaster_report.pdf
- PAWEK, C. (2009). *Schülerlabore als interessesfördernde außerschulische Lernumgebungen für Schülerinnen und Schüler aus der Mittel- und Oberstufe*. Dissertation. Kiel: Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. heruntergeladen am 10.09.2015 von: http://www.dlr.de/schoollab/Portaldata/24/Resources/dokumente/Diss_Pawek.pdf
- PENZLIN, H. (2005). *Lehrbuch der Tierphysiologie*. (7. Auflage). München: Spektrum.
- PRENZEL, M. (1988). *Die Wirkungsweise von Interesse. Ein pädagogisch-psychologisches Erklärungsmodell*. Opladen: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- PURVES, W. K., SADAVA, D., ORIAN, G. H., HELLER, H. C. (2006). *Biologie*. (7. Auflage). München: Spektrum.
- RHEINBERG, F. KRUG, S. (1999). *Motivationsförderung im Schulalltag*. (2. Auflage). Göttingen: Hogrefe.
- RUDOLF, M., KUHLISCH, W. (2008). *Biostatistik: Eine Einführung für Biowissenschaftler*. München: Pearson Studium.
- SCHARFENBERG, F.-J. (2005). *Experimenteller Biologieunterricht zu Aspekten der Gentechnik im Lernort Labor: Empirische Untersuchung zu Akzeptanz, Wissenserwerb und Interesse (am Beispiel des Demonstrationslabors Bio-/Gentechnik der Universität Bayreuth mit Schülern aus dem Biologie-Leistungskurs des Gymnasiums)*. Dissertation. Bayreuth: Universität Bayreuth.

- SCHMIDT, R. F., SCHAIBLE, H.-G. (2006). *Neuro- und Sinnesphysiologie*. (5. Auflage). Heidelberg: Springer.
- SCHIEFELE, U. (1996). *Motivation und Lernen mit Texten*. Göttingen: Hogrefe.
- SCHNELL, R., HILL, P. B., ESSER, E. (2008). *Methoden der empirischen Sozialforschung*. München: Oldenburg.
- SILVERTHORN, D. U. (2009). *Physiologie*. (4. Auflage). München: Pearson Studium.
- SMITH, R. M. (2004). *Introduction to Rasch measurement: Theory, models and applications*. Pennsylvania State University: Jam Press.
- SPITZER, M. (2009). *Lernen: Gehirnforschung und die Schule des Lebens*. Heidelberg: Spektrum.
- STORCH, V., WELSCH, U. (2002). Kükenthal: Zoologisches Praktikum. (24. Auflage). Heidelberg: Spektrum.
- THOMSON, R. F. (2010). *Das Gehirn. Von der Nervenzelle zur Verhaltenssteuerung*. (3. Auflage). Heidelberg: Spektrum.
- TODT, E. (1978). *Das Interesse: Empirische Untersuchungen zu einem Motivationskonzept*. Bern: Hans Huber.
- URHAHNE, D. (2002). *Motivation und Verstehen: Studien zum computergestützten Lernen in den Naturwissenschaften*. Berlin: Waxmann.
- WEGGE, J. (1998). *Lernmotivation, Informationsverarbeitung, Leistung: Zur Bedeutung von Zielen des Lernenden bei der Aufklärung motivationaler Leistungsunterschiede*. Münster: Waxmann.
- WEINER, B. (1986). *An attributional theory of motivation and emotion*. New York: Springer.
- WILSON, J. (2005). *Human Resource Development: Learning and Training for individuals and organizations*. London: Kogan Page.
- ZÖFEL, P. (1992). *Statistik in der Praxis*. (3. Auflage). Stuttgart: UTB.

14.3 Herausgeberwerke und Sammelbände

- BÖNSCH, M. (2000). Unterrichtsmethoden konstruieren Lernwege. In: N. Seibert (Hrsg.), *Unterrichtsmethoden kontrovers* (S. 23-68). Bad Heilbrunn: Julius Klinkert.
- BRAND, M, MARKOWITSCH, H. J. (2009). Lernen und Gedächtnis. In: U. Herrmann (Hrsg.), *Neurodidaktik – Grundlage und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen* (2. Auflage, S. 69-85). Weinheim: Beltz.

- BRUNER, J. (1981). Der Akt der Entdeckung. In: H. Neber (Hrsg.), *Entdeckendes Lernen* (S. 15-29). Weinheim: Beltz.
- BRUNSTEIN, J. C., HECKHAUSEN, J. (2006). Leistungsmotivation. In: J. Heckhausen, H. Heckhausen (Hrsg.), *Motivation und Handeln* (S. 143-191). Heidelberg: Springer.
- DECI, E. L., RYAN, R. M. (1991). A motivational approach to self: Integration in personality. In R. Dienstbier (Hrsg.), *Nebraska Symposium on Motivation: Perspectives on motivation* (38, S. 237-288). Lincoln: University of Nebraska Press.
- EDMONSDON, K. M. (2005). Assessing Science Understanding through Concept Maps. In J. J. Mintzes, J. H. Wandersee, J. D. Novak (Hrsg.), *Assessing Science Understanding. A Human Constructivist View* (S. 15-40). San Diego (USA), London (UK): Academic Press.
heruntergeladen am 16.03.2016 von:
http://ac.els-cdn.com/B9780124983656500044/3-s2.0-B9780124983656500044-main.pdf?_tid=f5b800f6-f0fa-11e5-991c-00000aab0f6c&acdnat=1458739816_339eb6e4f7f220fd2b96a5574e2746da
- GLASERSFELD, E. von (1985). Einführung in den radikalen Konstruktivismus. In: P. Watzlawick (Hrsg.), *Die erfundene Wirklichkeit. Wie wissen wir, was wir zu wissen glauben? Beiträge zum Konstruktivismus* (S. 16-38). München: Piper.
- GRÄSEL, C. (2000). Gestaltung problemorientierter Lernumgebung. In: H. Bayrhuber, U. Unterbrunner (Hrsg.), *Lehren und Lernen im Biologieunterricht* (S. 186-194). Innsbruck: Studien.
- HUBER, L. (2009a). Berufsrelevante Qualifizierung und individuelle Selbstbildung?! Ist Bildung in "Bologna" (noch) möglich? Anmerkungen zu einer Diskussion. In: W. D. Webler (Hrsg.), *Universitäten am Scheideweg?! Chancen und Gefahren des gegenwärtigen historischen Wandels in Verfassung, Selbstverständnis und Aufgabenwahrnehmung* (S. 199-215). Bielefeld: Universitätsverlag Webler.
- HUBER, L. (2009b). Warum Forschendes Lernen nötig und möglich ist. In: L. Huber, J. Hellmer, F. Schneider (Hrsg.), *Forschendes Lernen im Studium* (S. 9-35). Bielefeld: Universitätsverlag Webler.
- KRAPP, A. (1992a). Das Interessenskonstrukt. Bestimmungsmerkmale der Interessenhandlung und des individuellen Interesses aus Sicht einer Person-Gegenstands-Konzeption. In: A. Krapp, M. Prenzel (Hrsg.), *Interesse, Lernen, Leistung. Neuere Ansätze einer pädagogisch-psychologischen Interessensforschung* (S. 297-329). Münster: Aschendorff.
- KRAPP, A. (1992b). Konzepte und Forschungsansätze zur Analyse des Zusammenhangs von Interesse, Lernen und Leistung. In: A. Krapp, M. Prenzel (Hrsg.), *Interesse, Lernen, Leistung. Neuere Ansätze einer pädagogisch-psychologischen Interessensforschung* (S. 9-52). Münster: Aschendorff.

- KRAPP, A. (1996a). Die Bedeutung von Interesse und intrinsische Motivation für den Erfolg und die Steuerung schulischen Lernens. In: G. W. Schnaitmann, (Hrsg.), *Theorie und Praxis der Unterrichtsforschung. Methodologische und praktische Ansätze zur Erforschung von Lernprozessen* (S. 88-111). Donauwörth: Auer.
- KRAPP, A. (1998b). Interesse. In: H.-D. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (S. 213-218). Weinheim: Beltz.
- LEPPER, M. R., HENDERLONG, J. (2000). Turning "play" into "work" and "work" into "play": 25 years of research on intrinsic versus extrinsic motivation. In: C. Sansone, J. Harackiewicz (Hrsg.), *Intrinsic motivation: Controversies and new directions* (S. 257-307). San Diego: Academic Press.
heruntergeladen am 02.05.2016 von:
http://ac.els-cdn.com/B9780126190700500325/3-s2.0-B9780126190700500325-main.pdf?_tid=6b338b88-e5e4-11e5-8a62-00000aab0f6c&acdnat=1457520671_0fb9ed53afb5b504c229e8db16a1ec49
- MANDL, H., GRUBER, H., RENKL, A. (2002). Situiertes Lernen in multimedialen Lernumgebungen. In: L. Issing, P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia und Internet – Lehrbuch für Studium und Praxis* (3. Auflage, S. 138-148). Weinheim: Beltz.
- MANDL, H., REINMANN-ROTHMEIER, G. (2001). Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In: A. Krapp, B. Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (4. Auflage, S. 601-646). Weinheim: Beltz.
- PRENZEL, M., LANKES, E. M., MINSEL, B. (2000). Interessenentwicklung in Kindergarten und Grundschule: Die ersten Jahre. In: U. Schiefele, K. P. Wild (Hrsg.), *Interesse und Lernmotivation; Untersuchungen zu Entwicklung, Förderung und Wirkung* (S. 11–30), Münster: Waxmann.
- RENKL, A. (2015). Wissenserwerb. In: E. Wild, J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (2. Auflage, S. 3-24). Berlin: Springer.
- RHEINBERG, F. (2010). Intrinsische Motivation und Flow-Erleben. In: J. Heckhausen, H. Heckhausen (Hrsg.), *Motivation und Handeln* (4. Auflage, S. 365-388) Berlin: Springer.
- SALZMANN, C. (2007). Lehren und Lernen in außerschulischen Lernorten. In: J. Kahlert, M. Fölling-Albers, M. Götz, A. Hartiner, D. von Reeken, S. Wittkowske (Hrsg.), *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts* (S. 433-438). Bad Heilbrunn: Julius Klinkert.
- SCHENKEL, P. (2002). Lerntechnologien in der beruflichen Aus- und Weiterbildung. In: L. Issing, P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia und Internet – Lehrbuch für Studium und Praxis* (3. Auflage, S. 375-386). Weinheim: Beltz.

- SCHIEFELE, U. (2001). The role of Interest in motivation und learning. In: Collis, J. M., Messick, S. (Hrsg.), *Intelligence and personality*. (S. 163-194). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- SCHIEFELE, U. (2008). Lernmotivation und Interesse. In: W. Schneider, M. Hasselhorn (Hrsg.), *Handbuch der Pädagogischen Psychologie* (S. 38-43). Göttingen: Hogrefe.
- SCHIEFELE, U., SCHAFFNER, E. (2015). Motivation. In: E. Wild, J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (2. Auflage, S. 154-175). Berlin: Springer.
- SCHIEFELE, U., STREBLOW, L. (2006). Motivation aktivieren. In: H. Mandl, H. F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 232-247). Göttingen: Hogrefe.
- STEIGERT, T., SCHRENK, M. (2012). Fördert eigenständiges Experimentieren die Entwicklung wissenschaftsnaher Vorstellung des Pflanzenstoffwechsels? - Teilprojekt III. In: W. Rieß, M. Wirtz, B. Barzel, A. Schulz (Hrsg.), *Experimentieren im mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht: Schüler lernen wissenschaftlich denken und arbeiten* (S. 199-212). Münster: Waxmann.
- SCHWIPPERT, K., BOS, W., LANKES, E.-V. (2003). Heterogenität und Chancengleichheit am Ende der vierten Jahrgangsstufe im internationalen Vergleich. In: W. Bos, E.-M. Lankes, M. Prenzel, K. Schwippert, G. Walther, R. Valtin (Hrsg.), *Erste Ergebnisse aus IGLU: Schülerleistungen am Ende der vierten Jahrgangsstufe im internationalen Vergleich* (S. 265-302). Münster: Waxmann.
- TERGAN, S.-O. (2002). Hypertext und Hypermedia: Konzeption, Lernmöglichkeiten, Lernprobleme und Perspektiven. In: L. Issing, P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia und Internet: Lehrbuch für Studium und Praxis* (3. Auflage, S. 99-114). Weinheim: Beltz.
- TODT, E. (1990). Entwicklung des Interesses. In: H. Hetzer (Hrsg.), *Angewandte Entwicklungspsychologie des Kindes- und Jugendalters* (S. 213-264). Heidelberg: Quelle und Meyer.
- VOGT, H. (2007). Theorie des Interesses und des Nicht-Interesses. In: D. Krüger, H. Vogt, *Theorien in der biomedizinischen Forschung: Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (S. 9-20). Berlin: Springer.

14.4 Unveröffentlichte Werke

- BAUER, F. (2012). *Blended Learning: Entwicklung und Erprobung eines Unterrichtskonzeptes zur Förderung des selbstständigen und kooperativen Lernens im Leistungskurs Biologie unter Einsatz eines virtuellen Simulationsversuches zur neuronalen Informationsverarbeitung*. Vettweiß: Studienseminar Vettweiß.
- BAUER, F. (2010). *Erstellung von zwei Unterrichtseinheiten zur Durchführung elektrophysiologischer Experimente auf Grundlage der Datenerfassungs- und Unterrichtsplattform LabTutor®*. Köln: Universität Köln.

SCHUHMANN, A. (2008). *E-Learning, Blended Learning, virtuelle Exkursionen – Eine Bereicherung für den Erdkundeunterricht*. Norderstedt.

14.5 Elektronische Werke

Deutscher Bildungsserver. (2012). *Medienbildung in der Schule: Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 08.03.2012*.
heruntergeladen am 23.09.2012 von:
http://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2012/2012_03_08_Medienbildung.pdf

GOTZEN, S., BEYERLIN, S., GELS, A. (2015). *Forschendes Lernen*.
heruntergeladen 22.05.2016 von:
https://www.th-koeln.de/mam/downloads/deutsch/hochschule/profil/lehre/steckbrief_forschendes_lernen.pdf

KELLER, D. (2012). *Parametrisch oder nichtparametrisch? Das ist hier die Frage*.
heruntergeladen am 03.10.2015 von:
<http://www.statistik-und-beratung.de/2012/09/parametrisch-oder-nichtparametrisch-das-ist-hier-die-frage/>

KELLER, D. (2013). *Post-Hoc Tests und Fehlerkorrektur*.
heruntergeladen am 03.10.2015 von:
<http://www.statistik-und-beratung.de/2013/08/post-hoc-tests-und-fehlerkorrektur/>

KELLER, D. (2015). *Effektstärke*.
heruntergeladen am 11.01.2017 von:
<http://www.statistik-und-beratung.de/2015/07/effektstaerke/>

Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (1999). *Richtlinien und Lehrpläne für die Sekundarstufe II -Gymnasium/ Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen, Biologie*, Düsseldorf.
Heruntergeladen am 14.08.2012 von:
http://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/upload/lehrplaene_download/gymnasium_os/4722.pdf

Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2014). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen, Biologie*, Düsseldorf.
heruntergeladen am 27.09.2015 von:
http://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/upload/klp_SII/bi/KLP_GOSt_Biologie.pdf

Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2006-2010): *Konstruktion der Prüfungsaufgaben und Bewertung von Schülerleistungen*. Düsseldorf.
heruntergeladen am 25.05.2014 von:

http://www.schulministerium.nrw.de/BP/Schulsystem/Schulformen/Gymnasium2/Abi_2008/Aufgabenkonstruktion/index.html

Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2014): *Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht an allgemeinbildenden Schulen in Nordrhein-Westfalen (RISU-NRW): Biologie, Chemie, Physik, Technik/Arbeitslehre, Hauswirtschaft, Textildgestaltung, Kunst, Musik*. Düsseldorf. heruntergeladen am 20.05.2016 von: www.schulentwicklung.nrw.de/materialdatenbank/nutzersicht/getFile.php?id=3194

SCHIEPE-TISKA, A., SCHÖPS, K., RÖNNEBECK, S., KÖLLER, O., PRENZEL, M. (2013). Naturwissenschaftliche Kompetenz in PISA, In: M. Prenzel, C. Sälzer, E. Klieme, O. Köller (Hrsg.). *PISA 2012. Fortschritte und Herausforderungen in Deutschland* (S. 189-216). Münster: Waxmann. heruntergeladen am 10.05.2016 von: http://www.pisa.tum.de/fileadmin/w00bgi/www/Berichtband_und_Zusammenfassung_2012/PISA_EBook_ISBN3001.pdf

SCHMEKEL, B. S. (2009). *Sind Computersimulationen geeigneter als Schülerexperimente, um das Verständnis elektrischer Grundschaltungen zu verbessern? Eine Untersuchung im Physikunterricht der Oberstufe am Gymnasium* heruntergeladen am 02.05.2016 von: <http://arxiv.org/pdf/1001.4395.pdf>

STERN, E. (2004). *Lernen ist der mächtigste Mechanismus der kognitiven Entwicklung: Der Erwerb mathematischer Kompetenzen*. Tätigkeitsbericht 2004 des Max-Planck-Institut für Bildungsforschung. Berlin, 45-50. heruntergeladen am 27.04.2016 von: <https://www.mpg.de/858105/pdf.pdf>

STOLZ, A., ERB, R. (2011). Die Auswirkungen verschiedener Experimentiersituationen auf Leistung, Motivation und Kompetenzerwartung der Schülerinnen und Schüler. *Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2011*. heruntergeladen am 25.04.2016 von: <http://www.phydid.de/index.php/phydid-b/article/view/248>

UNIVERSITÄT ZÜRICH (2010). Einfache lineare Regression. Methodenberatung. heruntergeladen am 25.11.2015 von: <http://www.methodenberatung.uzh.ch/datenanalyse/zusammenhaenge/ereg.html>

UNIVERSITÄT ZÜRICH (2010). Korrelation. Methodenberatung. heruntergeladen am 10.11.2015 von: <http://www.methodenberatung.uzh.ch/datenanalyse/zusammenhaenge/korrelation.html>

UNIVERSITÄT ZÜRICH (2010). *Kruskal-Wallis-Test*. Methodenberatung. heruntergeladen am 10.11.2015 von: <http://www.methodenberatung.uzh.ch/datenanalyse/unterschiede/zentral/kruskal.html>

Anhang

A-1 Skript Realexperiment

„Aktionspotenziale beim Regenwurm“

In dem Experiment „Aktionspotenziale beim Regenwurm“ werden Sie bei einem betäubten Regenwurm Aktionspotenziale auslösen und diese untersuchen.

1 Einleitung

Der Regenwurm besitzt wie alle Ringelwürmer ein bäuchlings gelegenes Nervensystem (Bauchmark), in dem sich drei Riesenfaser befinden: eine mittlere und zwei seitliche (s. Abb. 1.1 und 1.2).

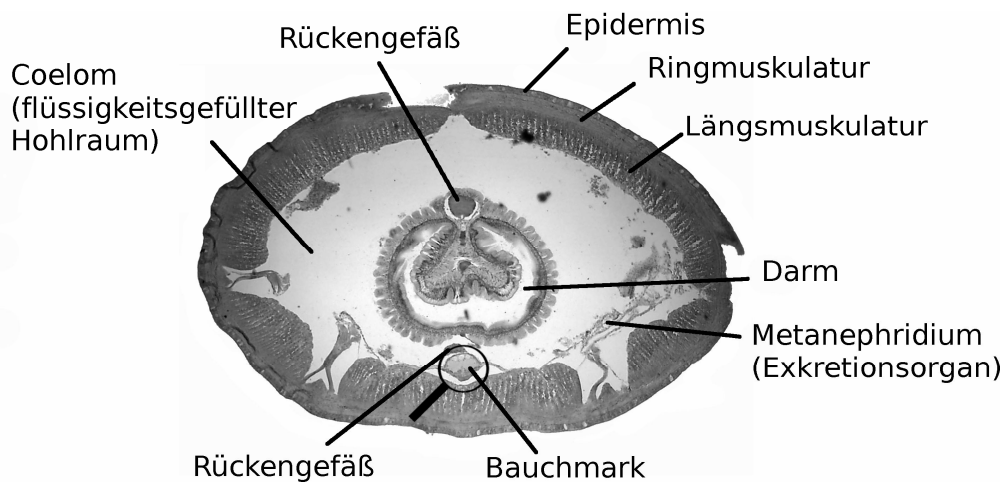


Abb. 1.1: Querschnitt durch die Körpermitte vom Regenwurm

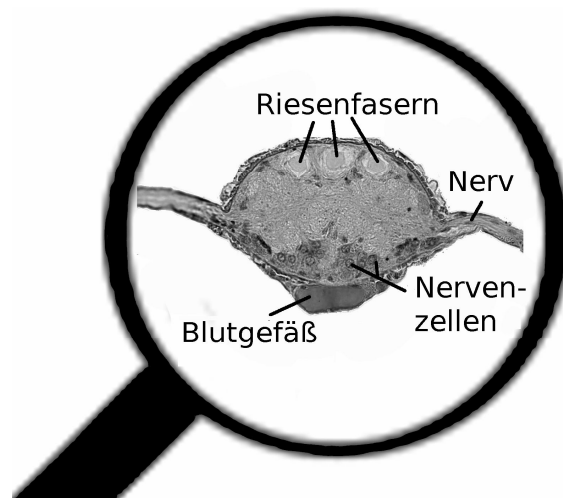


Abb. 1.2: Ausschnitt Bauchmark

In unserem Experiment untersuchen wir die mittlere Riesenfaser (MRF) im Bauchmark (s. Abb. 1.1 und 1.2). Riesenfaser sind Nervenzellen, deren Axone einen sehr großen Durchmesser haben; daher haben sie auch ihren Namen. Aufgrund ihres größeren Durchmessers leiten sie Aktionspotenziale schneller weiter als Axone mit geringeren Durchmessern. Des Weiteren besitzt die MRF eine primitive Myelinscheide. Dort, wo die Riesenfaser myelinisiert vorliegt, ist sie elektrisch isoliert – ähnlich einem mit Kunststoff umhüllten Stromkabel. Die Myelinisierung wird in regelmäßigen Abständen unterbrochen; diese Bereiche werden Schnürringe³⁸ genannt. Die Weiterleitung von Aktionspotenzialen erfolgt „sprunghaft“, da nur in den Abschnitten der Schnürringe Aktionspotenziale gebildet werden können; die isolierten Myelinabschnitte werden gewissermaßen übersprungen (s. Abb. 1.3). Wir sprechen hierbei von der saltatorischen Erregungsleitung (saltare (lat.): springen). Durch das Überspringen der myelinisierten Abschnitte wird die Leitungsgeschwindigkeit zusätzlich gesteigert. (Im Vergleich: Die Riesenfaser des Tintenfisches³⁹ haben einen Durchmesser bis zu 1 mm und eine Fortleitungsgeschwindigkeit von bis zu 20 m/s.⁴⁰ Die myelinisierte Riesenfaser des Regenwurms mit einem viel geringeren Durchmesser von ca. 0,07 mm hat eine Fortleitungsgeschwindigkeit von bis zu 25 m/s).⁴¹

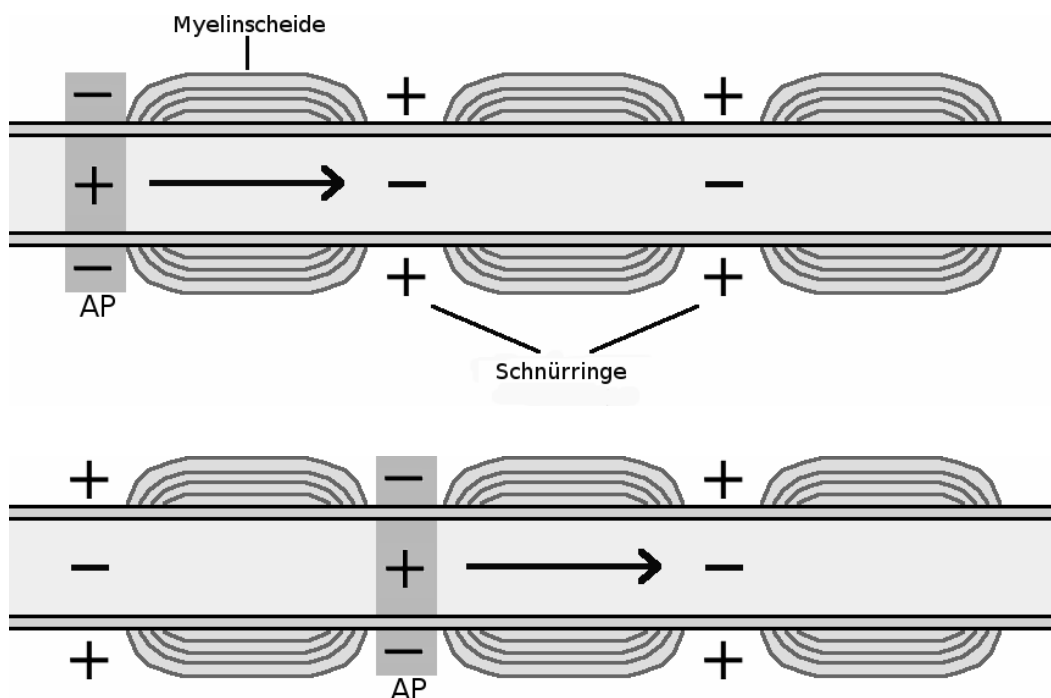


Abb. 1.3: Saltatorische Erregungsleitung am myelinisierten Axon; das Aktionspotenzial „springt“ von Schnürring zu Schnürring.

³⁸ Nur bei Wirbeltieren nennt man die nicht myelinisierten Abschnitte Ranvier'sche Schnürringe.

³⁹ nicht myelinisiert

⁴⁰ Schmidt, Robert, Neurowissenschaft: Vom Molekül zur Kognition, Berlin, Heidelberg, New York 2001². S. 110

⁴¹ Heinzel, Hans-Georg, Das Experiment: Neurophysiologische Versuche im intakten Regenwurm. Tierschutz durch Alternativen. In: Biologie in unserer Zeit, 1990, Nr. 6, S. 308, 310

Die Riesenfaser sind für das Auslösen der lebenswichtigen Zuckreflexe des Regenwurms zuständig.

Riesenfaser sind für neurophysiologische Untersuchungszwecke besonders gut geeignet, da durch sie größere elektrische Ströme fließen als bei Nervenfasern mit kleineren Durchmessern; die sich daraus ergebenden Aktionspotenziale können deshalb noch an der Regenwurmhaut außen gemessen werden.

2 Intrazelluläre und extrazelluläre Messung von Aktionspotenzialen

In Ihrem Schulbuch haben Sie bisher die **intrazelluläre Messung** kennengelernt; alle Abbildungen Ihres Schulbuches, die Membranpotenziale darstellen, beziehen sich auf die intrazelluläre Messung. Bei der intrazellulären Messung befindet sich die Messelektrode im Axoninnenraum, wohingegen sich die Bezugselektrode im außerzellulären Bereich befindet (s. Abb. 2.1.1).

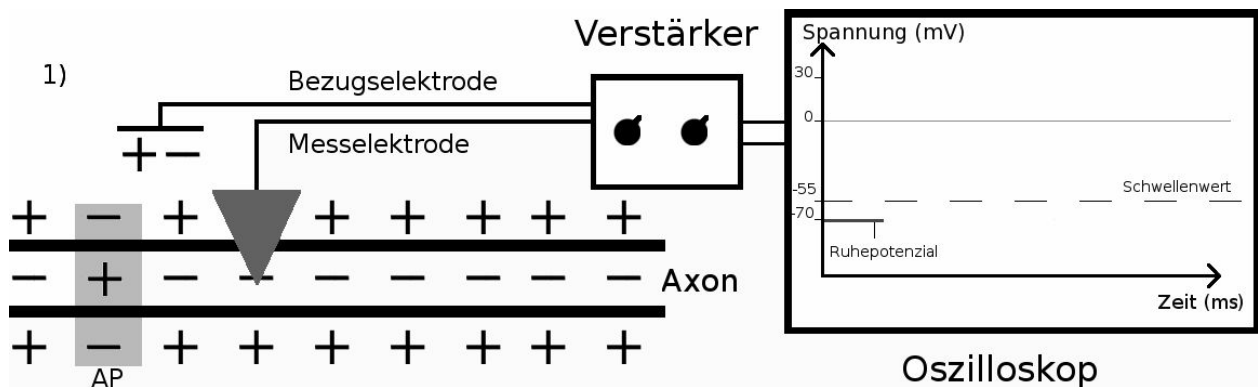


Abb. 2.1.1: Intrazelluläre Messung einer Nervenfaser: Das Aktionspotenzial befindet sich vor der Messelektrode.

Die beiden Elektroden messen eine elektrische Spannung. Diese elektrische Spannung ergibt sich aus den Ladungsdifferenzen zwischen den beiden Elektroden. Die Änderungen der Spannung mit der Zeit - das sind unsere Messwerte - werden mit Hilfe eines Oszilloskops oder eines Computers dargestellt. Aktionspotenziale sind Änderungen der Spannung, die durch einen typischen Kurvenverlauf charakterisiert sind.

Bei der intrazellulären Messung messen wir ein Ruhepotenzial von ca. -70 mV. Dies stellt die gemessene Ladungsdifferenz von Axoninnenraum (negativ geladen) und Außenmilieu (Nullpotenzial → ungeladen) während des Ruhezustandes dar (s. Abb. 2.1.1).

Wenn ein Aktionspotenzial die Messelektrode erreicht, wird eine Ladungsumkehr gemessen: Das Axoninnere wird positiv, da Natrium von außen in das Axoninnere einströmt. Dieser

Vorgang wird Depolarisation genannt. In unserem Fall fällt die Spannung von -70 mV (Ruhepotenzial) auf 0 mV und steigt dann bis auf $+30\text{ mV}$ an (s. Abb. 2.1.2).

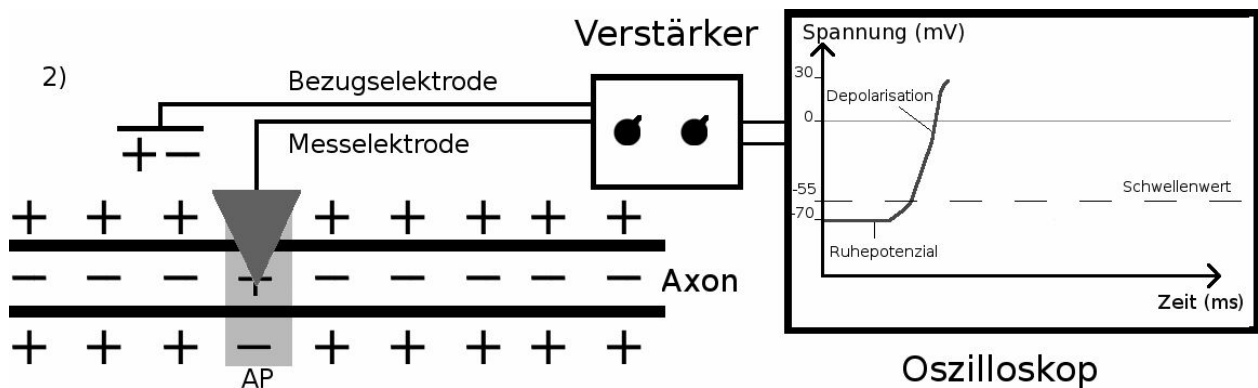


Abb. 2.1.2: Intrazelluläre Messung einer Nervenfasern: Das Aktionspotenzial erreicht die Messelektrode.

Noch bevor -30 mV erreicht werden, strömen Kalium-Ionen (K^+) aus dem Axoninneren in das Außenmilieu und der Natriumeinstrom kommt zum Erliegen.⁴² Das Außenmilieu wird dadurch wieder positiv und das Axoninnere wieder negativ. Diesen Prozess nennt man Repolarisation. Wenn mehr Kalium-Ionen ausströmen, als Natrium-Ionen eingeströmt sind, kann ein Wert unter dem Ruhepotenzial gemessen werden, in unserem Fall unter -70 mV . Die Phase nach der Repolarisation, in dem eine Spannung unter dem Ruhepotenzial gemessen werden kann, nennt man Hyperpolarisation (s. Abb. 2.1.3).

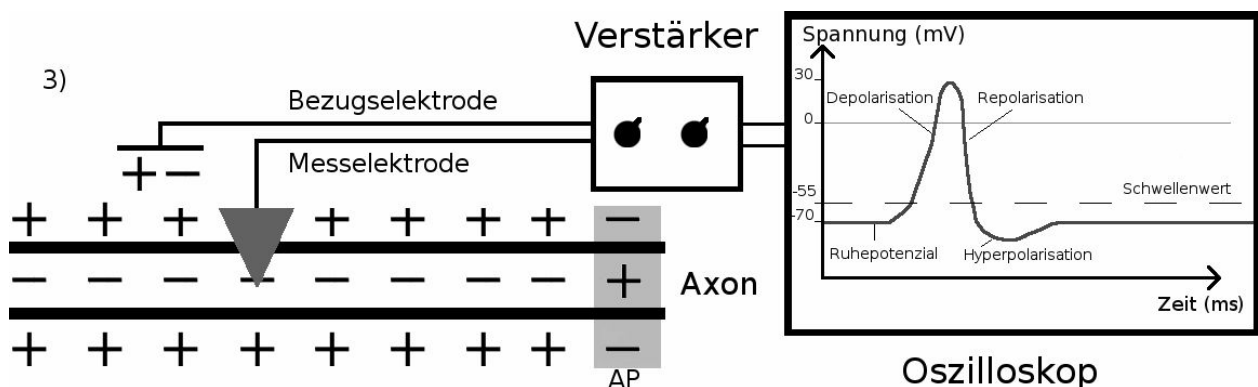


Abb. 2.1.3: Intrazelluläre Messung einer Nervenfasern: Das Aktionspotenzial befindet sich hinter der Messelektrode.

Da wir bei unserem Experiment dem Regenwurm keinen Schaden zufügen wollen, messen wir extrazellulär. Dabei befinden sich beide Elektroden außerhalb des Axons (in unserem Fall an der Regenwurmhaut).

⁴² Silverthorn, Dee U., Physiologie, München 2009⁴. S. 383, 387

Auch bei dieser Messvariante wird die Spannung, also die Ladungsdifferenz zwischen den zwei Elektroden gemessen.

Mit der **extrazellulären Messung** messen wir bei einer unerregten Nervenfasern im Idealfall 0 mV. Zwischen beiden Elektroden kann keine Ladungsdifferenz gemessen werden, da beide Elektroden sich im ladungsgleichen Außenmilieu befinden (s. Abb. 2.2.1).

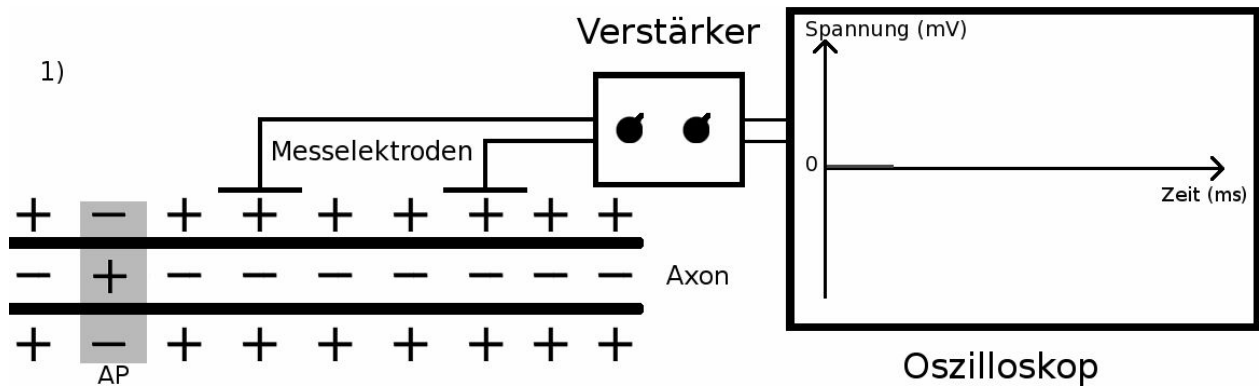


Abb. 2.2.1: Extrazelluläre Messung einer Nervenfasern: Das Aktionspotential befindet sich vor den Messelektroden.

Wenn ein Aktionspotential entsteht, wird es durch das Axon an die erste Elektrode weitergeleitet. Nun haben wir an den beiden Elektroden unterschiedliche Ladungszustände. Durch den Einstrom von Natrium-Ionen in das Axoninnere ist die Ladung an der ersten Elektrode negativer als an der zweiten. Diese Ladungsdifferenz messen wir als positiven Ausschlag der Spannung⁴³ (s. Abb. 2.2.2).

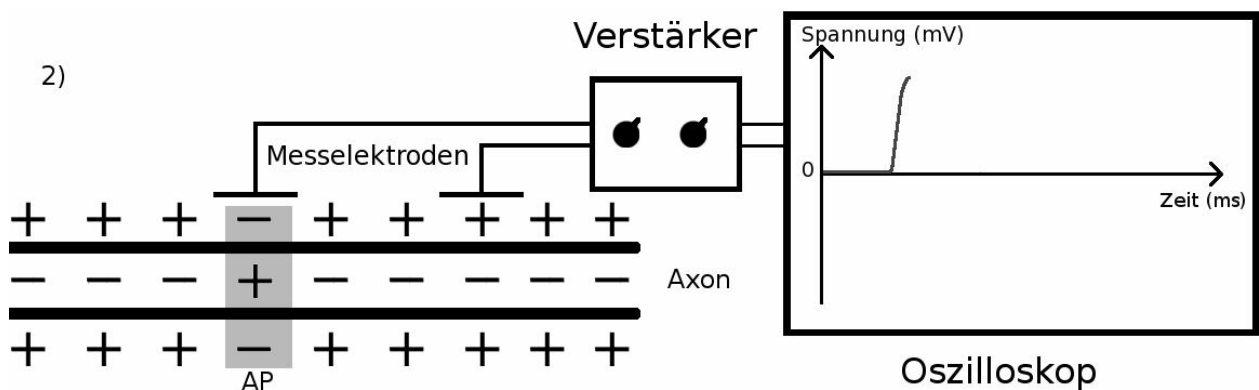


Abb. 2.2.2: Extrazelluläre Messung einer Nervenfasern: Das Aktionspotential befindet sich an der ersten Messelektrode.

⁴³ Die gemessenen Spannungsänderungen geschehen gewissermaßen aus der Perspektive der zweiten Elektrode, unter der sich hier eine höhere positive Ladung befindet als an der ersten Elektrode.

Das Aktionspotenzial wird im Axon weitergeleitet. Wenn das Außenmilieu an beiden Elektroden wieder gleich geladen ist, können wir keine Spannung mehr messen (s. Abb. 2.2.3).

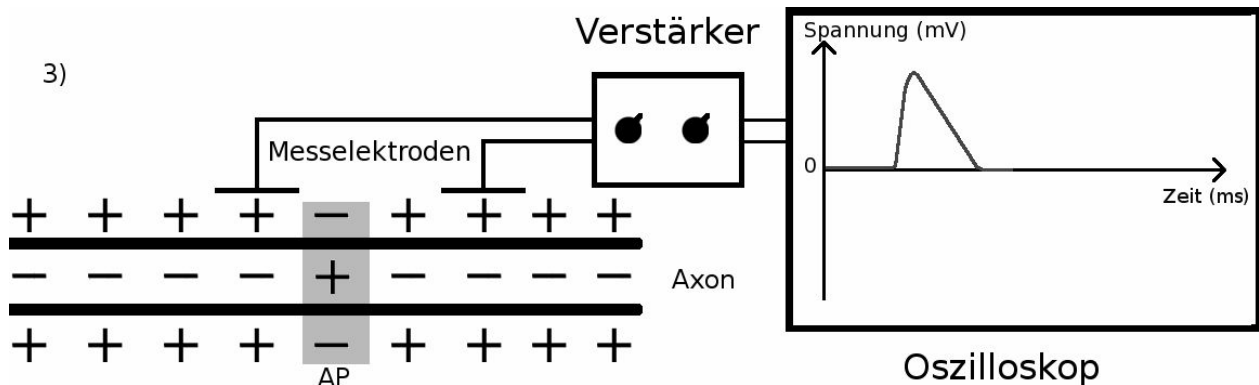


Abb. 2.2.3: Extrazelluläre Messung einer Nervenfasern: Das Aktionspotenzial befindet sich zwischen den Messelektroden.

Als Nächstes gelangt das Aktionspotenzial zur zweiten Elektrode. Das Aktionspotenzial verursacht dort eine Ladungsumkehr, wohingegen bei der ersten Elektrode das Ruhepotenzial der Nervenfasern und damit die ursprüngliche Ionenverteilung wieder erreicht wurden (s. Abb. 2.2.4).

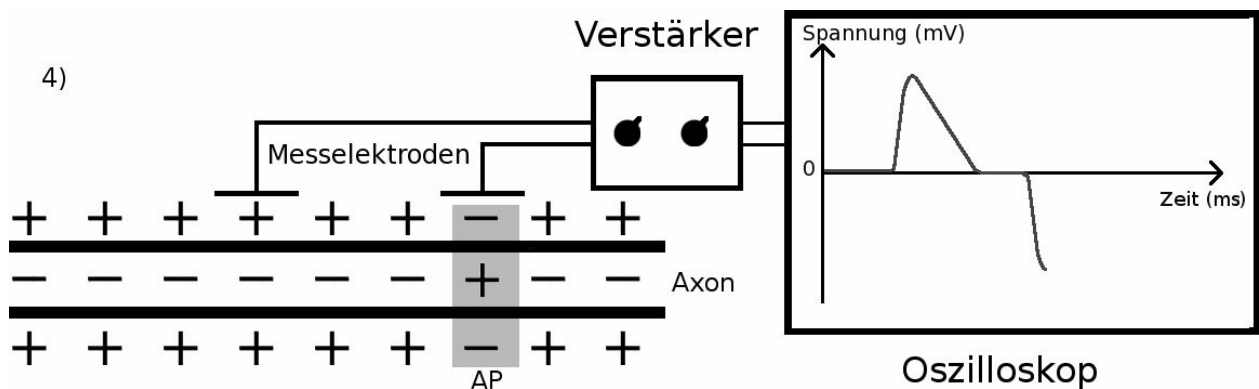


Abb. 2.2.4: Extrazelluläre Messung einer Nervenfasern: Das Aktionspotenzial befindet sich an der zweiten Messelektrode.

Wenn sich auch an der zweiten Elektrode das Ruhepotenzial wieder eingestellt hat, können wir im Idealfall ein negatives Spiegelbild des ersten Ausschlags messen (s. Abb. 2.2.5). Das liegt daran, dass im Vergleich zum ersten Spannungsausschlag die Ladungsdifferenz genau umgekehrt ist. Während beim ersten Spannungsausschlag die erste Messelektrode eine negativere Ladung als die zweite besaß, ist es beim zweiten Spannungsausschlag genau andersherum. Die erste Messelektrode misst eine positivere und die zweite eine negativere Ladung. Da das Aktionspotenzial während seiner Weiterleitung gleich stark bleibt,

ist die gemessene Ladungsdifferenz (abgesehen vom Vorzeichen) zwischen den beiden Messelektroden (s. Abb. 2.2.2 und 2.2.4) gleich groß.

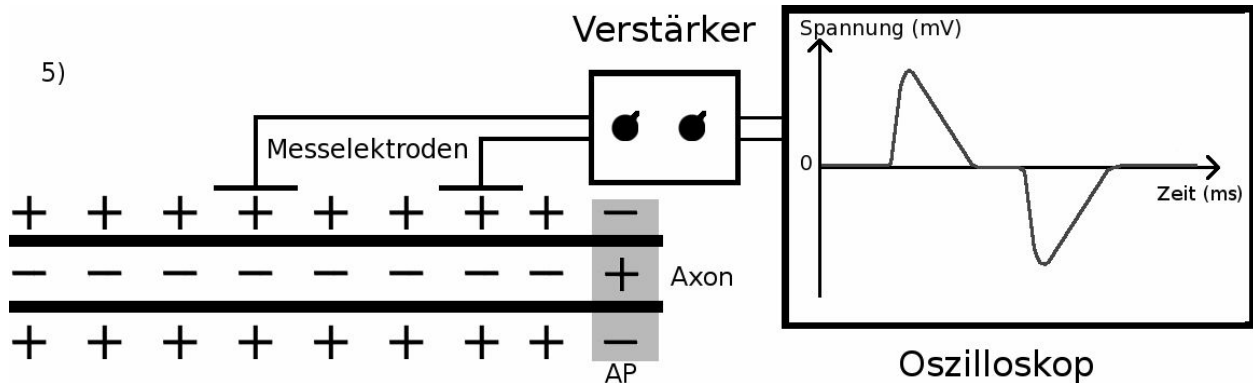


Abb. 2.2.5: Extrazelluläre Messung einer Nervenfaseroberfläche: Das Aktionspotenzial hat die beiden Messelektroden passiert und das Oszilloskop hat nun das gesamte biphasische Aktionspotenzial dargestellt.

Den Verlauf mit positivem und anschließendem negativem Ausschlag nennt man biphasisch; er besteht aus zwei Phasen. (Der negative Ausschlag entspricht nicht der intrazellulär gemessenen Hyperpolarisation!) Bei der extrazellulären Messung wird dementsprechend ein Aktionspotenzial mit einem biphasischen Signal abgebildet.

Da Sie in unserem Experiment mit Originaldaten arbeiten, werden Sie Abweichungen von diesem theoretischen Verlauf eines extrazellulär aufgenommenen Aktionspotenzials feststellen. Vor und nach einem Aktionspotenzial weichen die Messungen von 0 mV leicht ab. Zusätzlich – aufgrund der Nähe der Elektroden zueinander – überlagern sich unsere beiden Spannungsausschläge (s. Abb. 2.2.6).

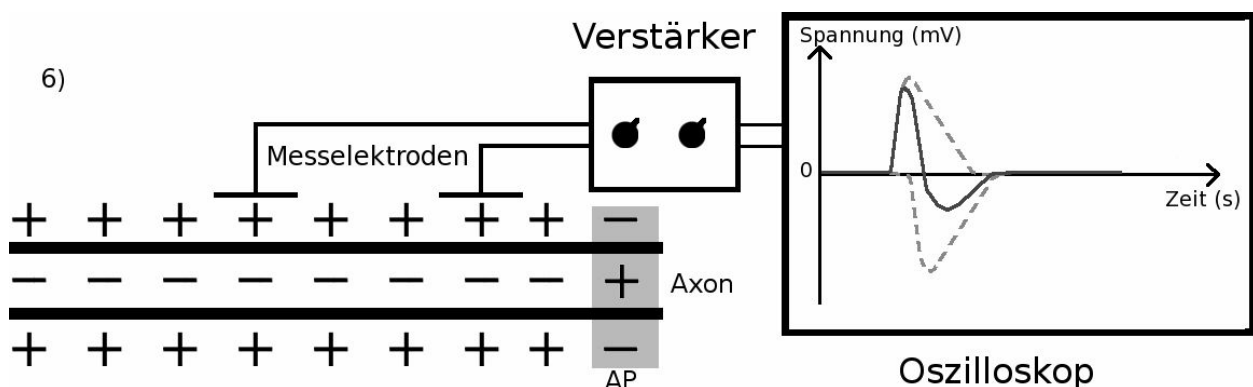


Abb. 2.2.6: Extrazelluläre Messung einer Nervenfaseroberfläche: Die zwei Phasen (gestrichelte Linien), die sonst das biphasische Aktionspotenzial bilden, verrechnen sich (durchgezogene Linie).

Wir erhalten lediglich ein schwaches biphasisches Signal; lediglich der erste Ausschlag ist deutlich zu erkennen. Achtung: Der Kurvenverlauf ähnelt einem intrazellulär aufgenommenen Aktionspotenzial, unterscheidet sich jedoch deutlich durch die

unterschiedlichen Spannungswerte! Da wir von außen an der Regenwurmhaut messen, kommt hinzu, dass unsere Messwerte ungenauer sind, als wenn wir direkt am Axon messen würden.

3 Refraktärzeit

Die Refraktärzeit ist die Zeit nach einem Aktionspotenzial, in der entweder gar kein zweites Aktionspotenzial (**absolute Refraktärzeit**, s. Abb. 3.1-A) oder ein Aktionspotenzial mit einer geringeren Amplitude ausgelöst werden kann (**relative Refraktärzeit**, s. Abb. 3.1-B und -C).

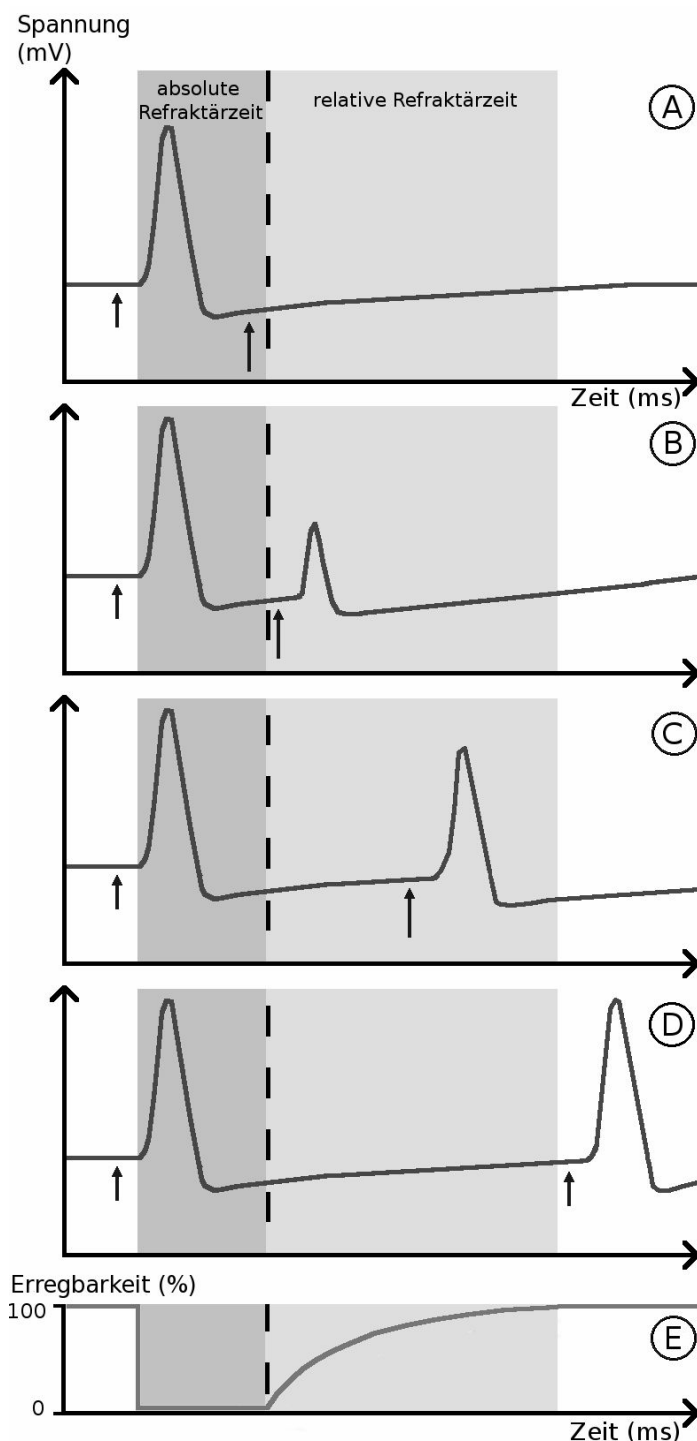


Abb. 3.1: A - D: Darstellung der relativen und absoluten Refraktärzeit bei einer intrazellulären Messung, der Pfeil stellt den Reiz und den Zeitpunkt des Reizes dar, der längerer Pfeil steht für einen sehr starken Reiz.

A: In der absoluten Refraktärzeit kann kein zweites Aktionspotenzial ausgelöst werden.

B, C: In der relativen Refraktärzeit kann ein starker Reiz ein zweites (schwächeres) Aktionspotenzial auslösen.

D: Nach der Refraktärzeit erreichen Aktionspotenziale wieder ihre normale Größe.

E: Darstellung der Erregbarkeit der Axonstelle in Prozent, mit der ein zweites Aktionspotenzial ausgelöst werden kann.

Ein Grund für die Entstehung der Refraktärzeit sind die Öffnungs- und Schließmechanismen der Natrium-Kanäle. Spannungsabhängige Natrium-Kanäle besitzen ein Aktivierungstor und ein Inaktivierungstor. Im Grundzustand sind die Aktivierungstore der Natrium-Kanäle geschlossen, sodass keine Natrium-Ionen dem Konzentrationsgefälle folgend von außen in das Axon eindringen können; die Inaktivierungstore sind im Grundzustand offen und zu diesem Zeitpunkt ohne Funktion (s. Abb. 3.2.1). Wenn die Spannung an der Axonmembran einen gewissen Schwellenwert erreicht, werden die Aktivierungstore geöffnet (s. Abb. 3.2.2). Natrium-Ionen können nun durch die Kanäle aus dem Außenmilieu in das Axon hineinströmen. Die Inaktivierungstore verschließen nach ca. 1 ms automatisch die geöffneten Kanäle (s. Abb. 3.2.3). Die Natrium-Kanäle können nun für ca. 1 ms nicht geöffnet werden, d. h., sie sind inaktiviert (= refraktär). Dieser Zeitraum, in dem die Kanäle inaktiviert sind, beschreibt die absolute Refraktärzeit, in der keine Aktionspotenziale ausgelöst werden können. Während der absoluten Refraktärzeit schließen sich auch die Aktivierungstore (s. Abb. 3.2.4).

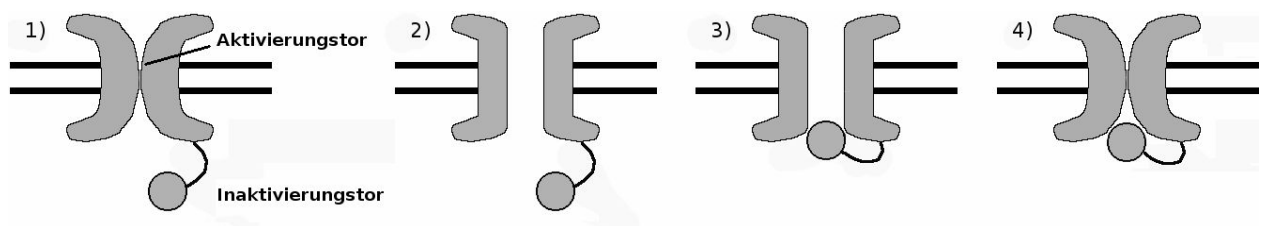


Abb. 3.2: Unterschiedliche Zustände eines spannungsgesteuerten Natrium-Kanals: 1) Grundzustand, 2) nach Spannungsanstieg: geöffneter Natrium-Kanal, 3) ca. 1 ms nach Öffnung: geschlossener Natrium-Kanal, 4) Natrium-Kanal mit geschlossenem Aktivierungstor und Inaktivierungstor.

In der relativen Refraktärzeit öffnen sich nun nach und nach die Inaktivierungstore, sodass (bei starker Reizung) ein Aktionspotenzial ausgelöst werden kann. Allerdings besitzt dieses zweite Aktionspotenzial eine geringere Amplitude als das erste (s. Abb. 3.1-B und -C), da weniger Natrium-Kanäle für den Einstrom von Natrium-Ionen zur Verfügung stehen. Wenn alle Kanäle nicht mehr inaktiviert sind, ist das Ende der relativen Refraktärzeit erreicht. Die Amplitude des zweiten Aktionspotenzials entspricht wieder der normalen Größe (s. Abb. 3.1-D).

Der zweite Grund für die Refraktärzeit ist der Ausstrom von Kalium-Ionen aus der Nervenzelle; dieser Ausstrom führt erst zur Repolarisation und anschließend zur Hyperpolarisation des Aktionspotenzials. Um in der Phase der Hyperpolarisation den Schwellenwert zu erreichen und dadurch ein Aktionspotenzial auszulösen, müssen die Reize in der relativen Refraktärzeit stärker sein, als während des Ruhepotenzials. Da die ausströmenden Kalium-Ionen einer Depolarisation durch einströmende Natrium-Ionen entgegen wirken, fällt die Ladungsumkehr geringer aus. Dies ist ein weiterer Grund, warum Aktionspotenziale in der relativen Refraktärzeit eine geringere Amplitude besitzen. Erst wenn

das Membranpotenzial nach dem Aktionspotenzial wieder das Ruhepotenzial erreicht, sind die Kalium-Kanäle geschlossen.

In unserem Experiment werden Sie mit Hilfe zweier hintereinander folgender elektrischer Reize die absolute und die relative Refraktärzeit bestimmen.

4. Versuchstiere

Als Versuchstiere dienen einheimische Regenwürmer (*Lumbricus terrestris* L.) oder Tauwürmer (*Eisenia foetida* Savigny). Die Würmer werden durch Einlegen (ca. 5 min, unter Kontrolle!) in eine 0,4 %ige Chlorobutanollösung (= Chloreton = 1,1,1-Trichloro-2-methyl-2-propanol) betäubt.

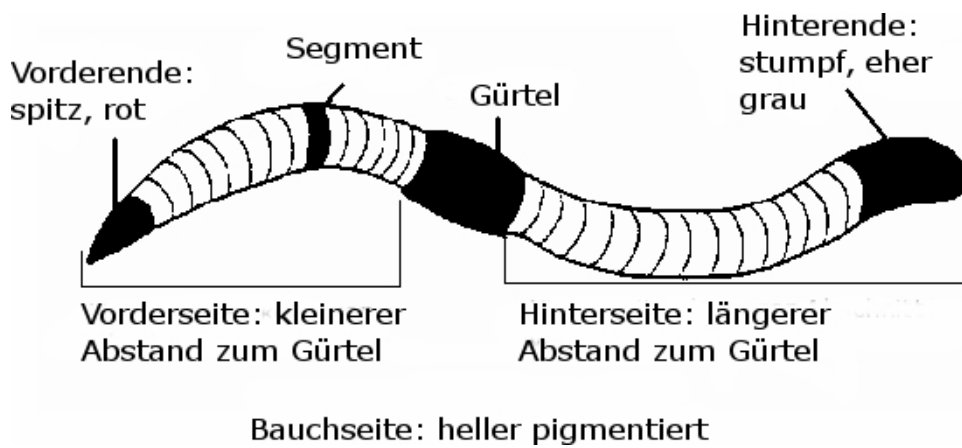


Abb. 4.1: Regenwurmskizze

5. Softwarebedienung

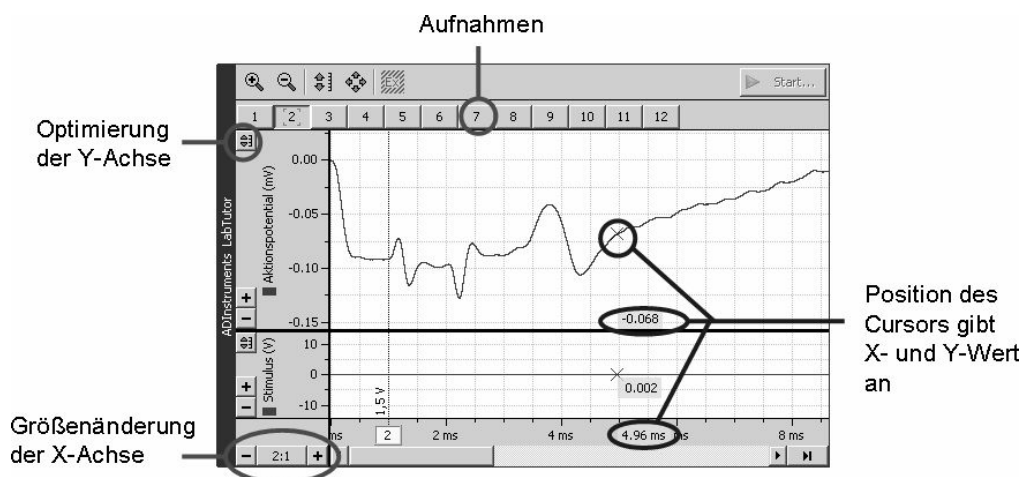


Abb. 5.1: Einstellen der Messergebnisse

Im Experiment werden ihre Messungen direkt am Computerbildschirm grafisch dargestellt. Die Reizung erfolgt 1 ms nach Aufnahmebeginn (gestrichelte Linie). Zur besseren Veranschaulichung müssen Sie die X- und Y-Achse auf ein günstiges Größenverhältnis einstellen. Zur Auswertung können Sie mit Hilfe des Cursors die X- und Y-Werte ablesen.

A-2 Skript Virtuelles Experiment und Kontrollgruppe**„Aktionspotenziale beim Regenwurm“**

In dem Virtuellen Experiment „Aktionspotenziale beim Regenwurm“ werden Sie bei einem betäubten Regenwurm Aktionspotenziale auslösen und diese untersuchen.

Da es sich um einen E-Learning-Versuch handelt, werden Sie keine eigenen Messungen am Regenwurm durchführen, sondern vorab erstellte Originalmessungen auswerten.

1 Einleitung

Der Regenwurm besitzt wie alle Ringelwürmer ein bäuchlings gelegenes Nervensystem (Bauchmark), in dem sich drei Riesenfaser befinden: eine mittlere und zwei seitliche (s. Abb. 1.1 und 1.2).

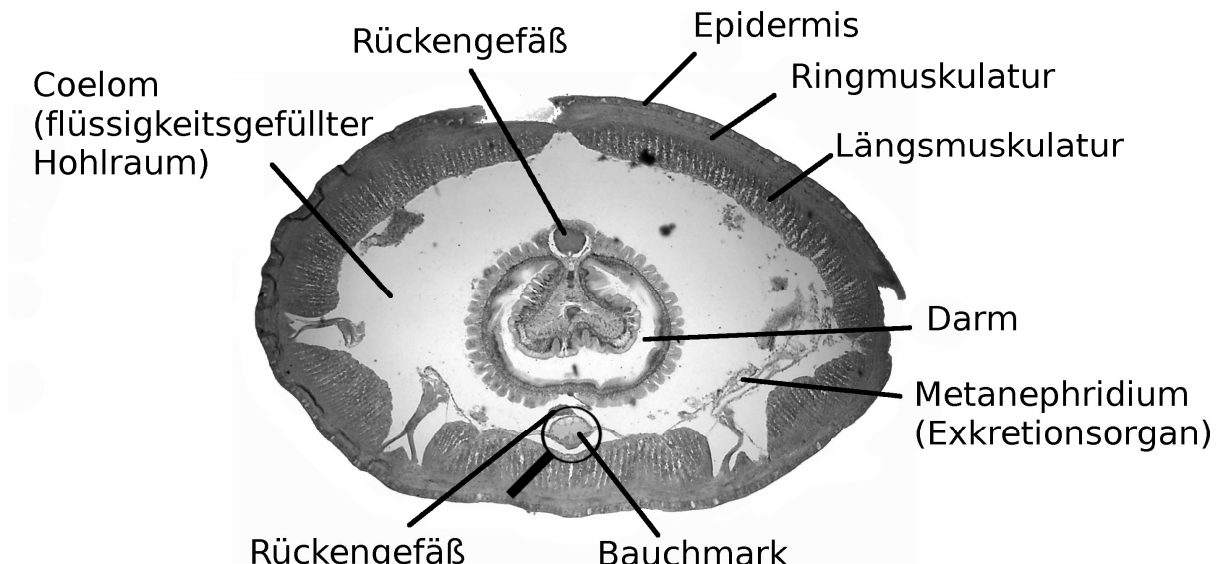


Abb. 1.1: Querschnitt durch die Körpermitte vom Regenwurm

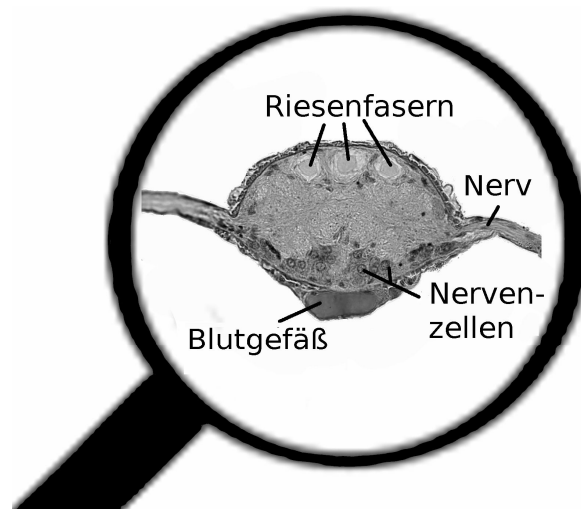


Abb. 1.2: Ausschnitt Bauchmark

In unserem Experiment untersuchen wir die mittlere Riesenfaser (MRF) im Bauchmark (s. Abb. 1.1 und 1.2). Riesenfaser sind Nervenzellen, deren Axone einen sehr großen Durchmesser haben; daher haben sie auch ihren Namen. Aufgrund ihres größeren Durchmessers leiten sie Aktionspotenziale schneller weiter als Axone mit geringeren Durchmessern. Des Weiteren besitzt die MRF eine primitive Myelinscheide. Dort, wo die Riesenfaser myelinisiert vorliegt, ist sie elektrisch isoliert – ähnlich einem mit Kunststoff umhüllten Stromkabel. Die Myelinisierung wird in regelmäßigen Abständen unterbrochen; diese Bereiche werden Schnürringe⁴⁴ genannt. Die Weiterleitung von Aktionspotenzialen erfolgt „sprunghaft“, da nur in den Abschnitten der Schnürringe Aktionspotenziale gebildet werden können; die isolierten Myelinabschnitte werden gewissermaßen übersprungen (s. Abb. 1.3). Wir sprechen hierbei von der saltatorischen Erregungsleitung (saltare (lat.): springen). Durch das Überspringen der myelinisierten Abschnitte wird die Leitungsgeschwindigkeit zusätzlich gesteigert. (Im Vergleich: Die Riesenfaser des Tintenfisches⁴⁵ haben einen Durchmesser bis zu 1 mm und eine Fortleitungsgeschwindigkeit von bis zu 20 m/s.⁴⁶ Die myelinisierte Riesenfaser des Regenwurms mit einem viel geringeren Durchmesser von ca. 0,07 mm hat eine Fortleitungsgeschwindigkeit von bis zu 25 m/s).⁴⁷

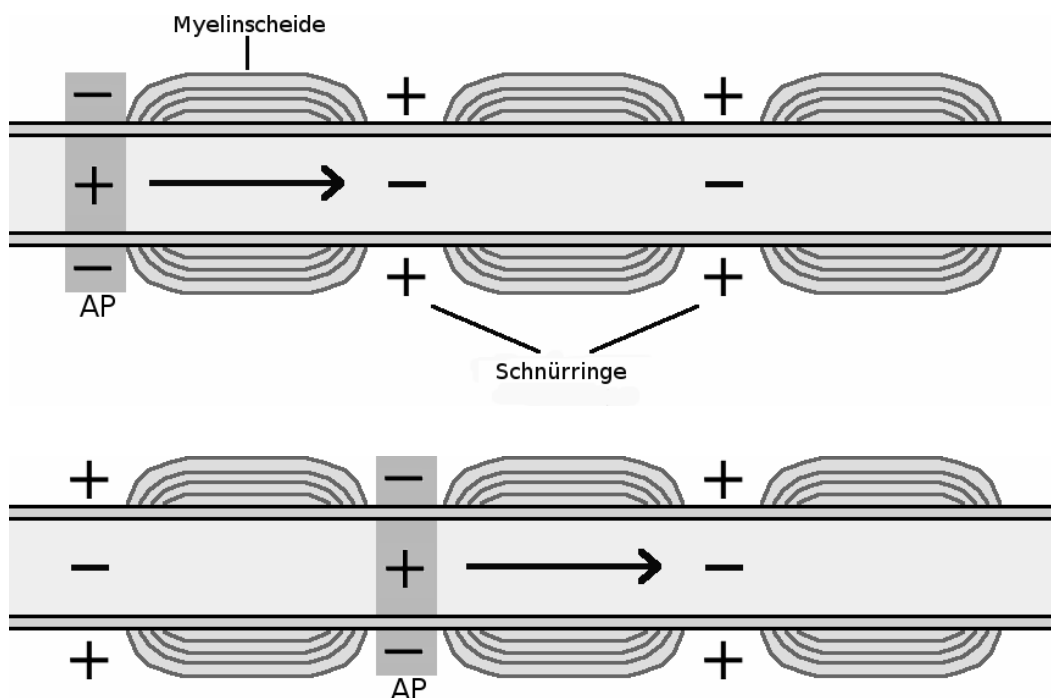


Abb. 1.3: Saltatorische Erregungsleitung am myelinisierten Axon; das Aktionspotenzial „springt“ von Schnürring zu Schnürring.

⁴⁴ Nur bei Wirbeltieren nennt man die nicht myelinisierten Abschnitte Ranvier'sche Schnürringe.

⁴⁵ nicht myelinisiert

⁴⁶ Schmidt, Robert, Neurowissenschaft: Vom Molekül zur Kognition, Berlin, Heidelberg, New York 2001². S. 110

⁴⁷ Heinzel, Hans-Georg, Das Experiment: Neurophysiologische Versuche im intakten Regenwurm. Tierschutz durch Alternativen. In: Biologie in unserer Zeit, 1990, Nr. 6, S. 308, 310

Die Riesenfaser sind für das Auslösen der lebenswichtigen Zuckreflexe des Regenwurms zuständig.

Riesenfaser sind für neurophysiologische Untersuchungszwecke besonders gut geeignet, da durch sie größere elektrische Ströme fließen als bei Nervenfasern mit kleineren Durchmessern; die sich daraus ergebenden Aktionspotenziale können deshalb noch an der Regenwurmhaut außen gemessen werden.

2 Intrazelluläre und extrazelluläre Messung von Aktionspotenzialen

In Ihrem Schulbuch haben Sie bisher die **intrazelluläre Messung** kennengelernt; alle Abbildungen Ihres Schulbuches, die Membranpotenziale darstellen, beziehen sich auf die intrazelluläre Messung. Bei der intrazellulären Messung befindet sich die Messelektrode im Axoninnenraum, wohingegen sich die Bezugselektrode im außerzellulären Bereich befindet (s. Abb. 2.1.1).

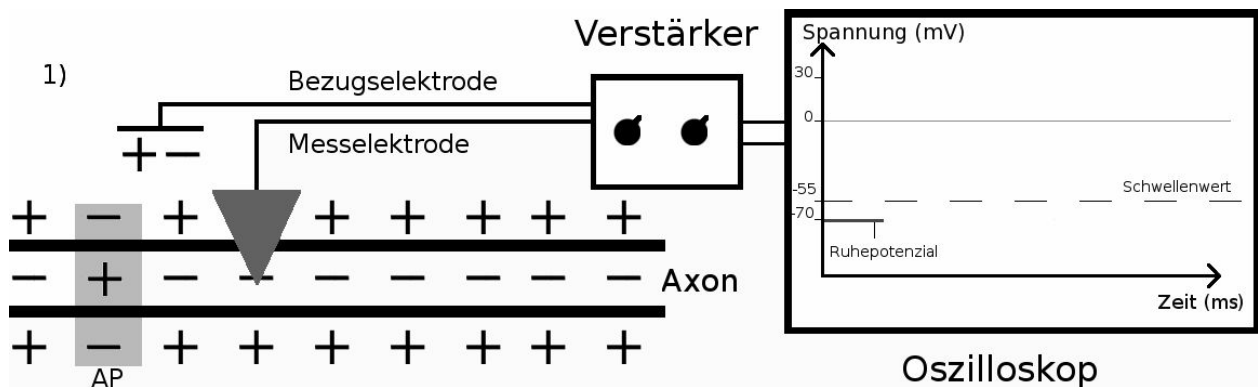


Abb. 2.1.1: Intrazelluläre Messung einer Nervenfaser: Das Aktionspotenzial befindet sich vor der Messelektrode.

Die beiden Elektroden messen eine elektrische Spannung. Diese elektrische Spannung ergibt sich aus den Ladungsdifferenzen zwischen den beiden Elektroden. Die Änderungen der Spannung mit der Zeit - das sind unsere Messwerte - werden mit Hilfe eines Oszilloskops oder eines Computers dargestellt. Aktionspotenziale sind Änderungen der Spannung, die durch einen typischen Kurvenverlauf charakterisiert sind.

Bei der intrazellulären Messung messen wir ein Ruhepotenzial von ca. -70 mV. Dies stellt die gemessene Ladungsdifferenz von Axoninnenraum (negativ geladen) und Außenmilieu (Nullpotenzial → ungeladen) während des Ruhezustandes dar (s. Abb. 2.1.1).

Wenn ein Aktionspotenzial die Messelektrode erreicht, wird eine Ladungsumkehr gemessen: Das Axoninnere wird positiv, da Natrium von außen in das Axoninnere einströmt. Dieser

Vorgang wird Depolarisation genannt. In unserem Fall fällt die Spannung von -70 mV (Ruhepotenzial) auf 0 mV und steigt dann bis auf $+30$ mV an (s. Abb. 2.1.2).

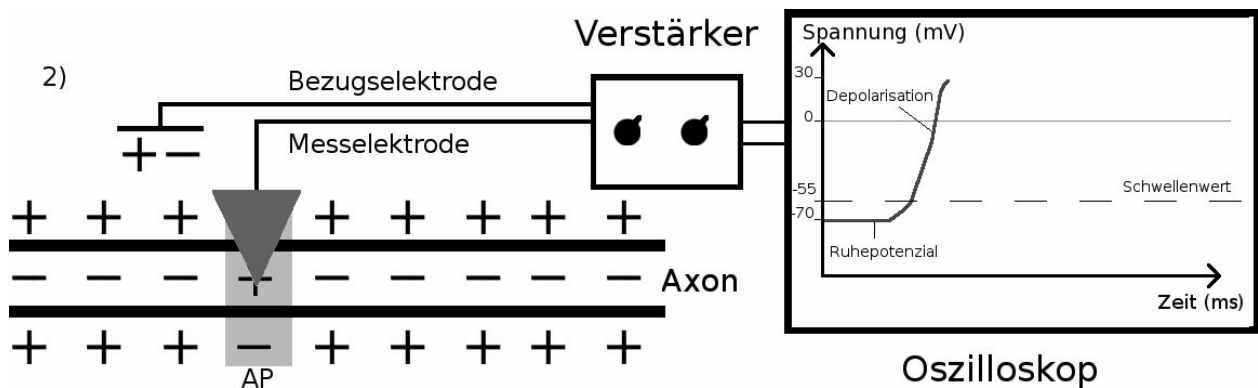


Abb. 2.1.2: Intrazelluläre Messung einer Nervenfasern: Das Aktionspotenzial erreicht die Messelektrode.

Noch bevor -30 mV erreicht werden, strömen Kalium-Ionen (K^+) aus dem Axoninneren in das Außenmilieu und der Natriumeinstrom kommt zum Erliegen.⁴⁸ Das Außenmilieu wird dadurch wieder positiv und das Axoninnere wieder negativ. Diesen Prozess nennt man Repolarisation. Wenn mehr Kalium-Ionen ausströmen, als Natrium-Ionen eingeströmt sind, kann ein Wert unter dem Ruhepotenzial gemessen werden, in unserem Fall unter -70 mV. Die Phase nach der Repolarisation, in dem eine Spannung unter dem Ruhepotenzial gemessen werden kann, nennt man Hyperpolarisation (s. Abb. 2.1.3).

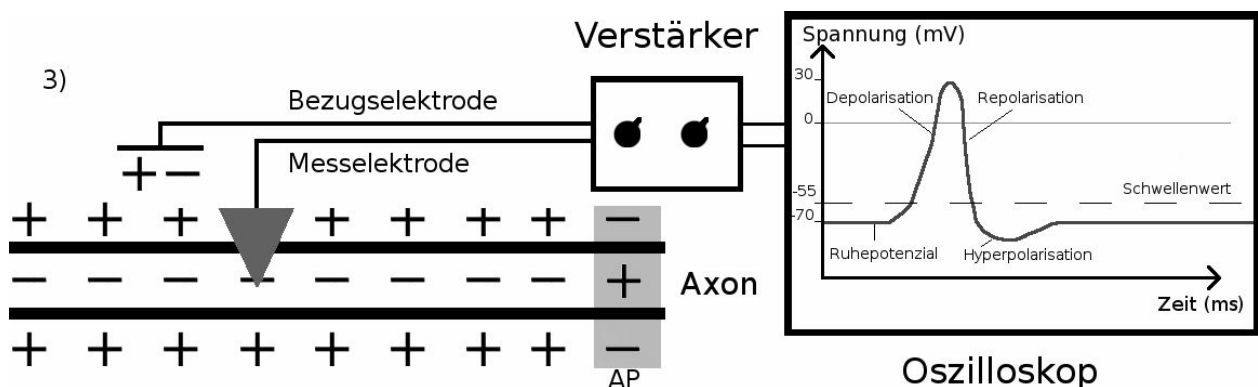


Abb. 2.1.3: Intrazelluläre Messung einer Nervenfasern: Das Aktionspotenzial befindet sich hinter der Messelektrode.

Da wir bei unserem Experiment dem Regenwurm keinen Schaden zufügen wollen, messen wir extrazellulär. Dabei befinden sich beide Elektroden außerhalb des Axons (in unserem Fall an der Regenwurmhaut).

⁴⁸ Silverthorn, Dee U., Physiologie, München 2009⁴. S. 383, 387

Auch bei dieser Messvariante wird die Spannung, also die Ladungsdifferenz zwischen den zwei Elektroden gemessen.

Mit der **extrazellulären Messung** messen wir bei einer unerregten Nervenfasern im Idealfall 0 mV. Zwischen beiden Elektroden kann keine Ladungsdifferenz gemessen werden, da beide Elektroden sich im ladungsgleichen Außenmilieu befinden (s. Abb. 2.2.1).

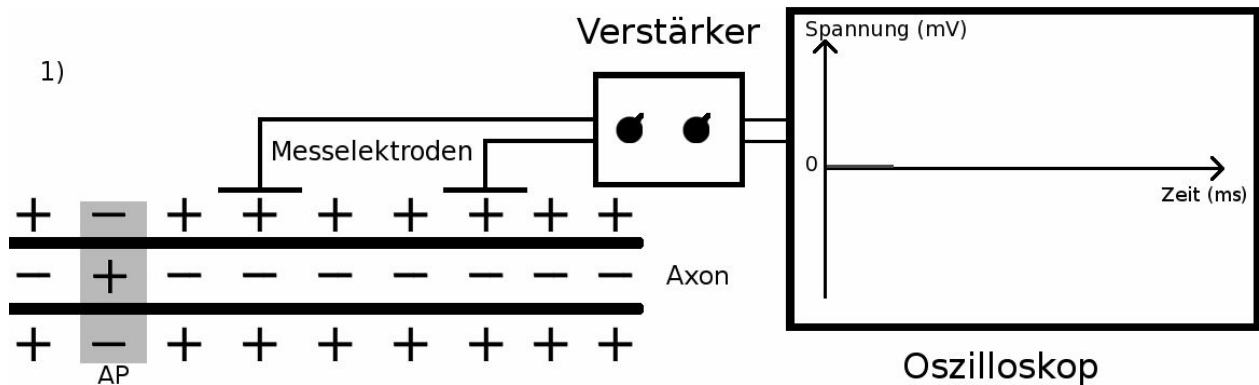


Abb. 2.2.1: Extrazelluläre Messung einer Nervenfasern: Das Aktionspotential befindet sich vor den Messelektroden.

Wenn ein Aktionspotential entsteht, wird es durch das Axon an die erste Elektrode weitergeleitet. Nun haben wir an den beiden Elektroden unterschiedliche Ladungszustände. Durch den Einstrom von Natrium-Ionen in das Axoninnere ist die Ladung an der ersten Elektrode negativer als an der zweiten. Diese Ladungsdifferenz messen wir als positiven Ausschlag der Spannung⁴⁹ (s. Abb. 2.2.2).

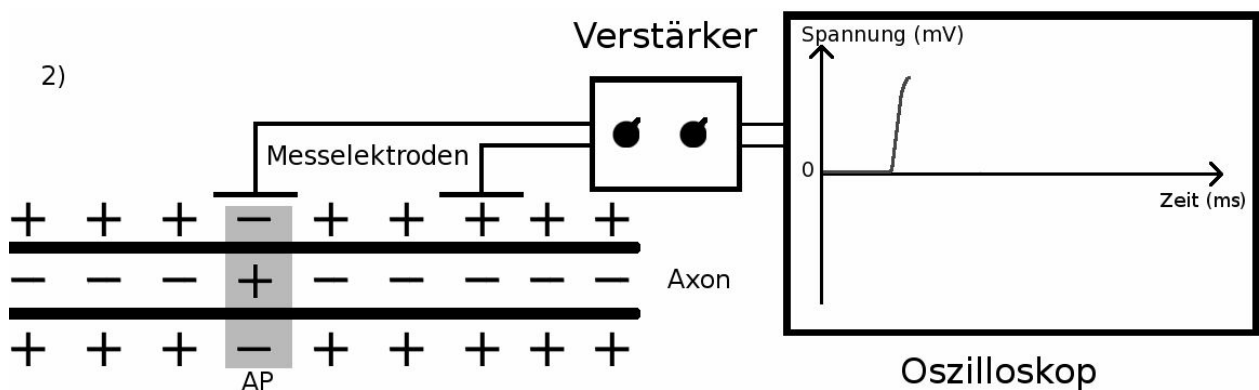


Abb. 2.2.2: Extrazelluläre Messung einer Nervenfasern: Das Aktionspotential befindet sich an der ersten Messelektrode.

Das Aktionspotential wird im Axon weitergeleitet. Wenn das Außenmilieu an beiden Elektroden wieder gleich geladen ist, können wir keine Spannung mehr messen (s. Abb. 2.2.3).

⁴⁹ Die gemessenen Spannungsänderungen geschehen gewissermaßen aus der Perspektive der zweiten Elektrode, unter der sich hier eine höhere positive Ladung befindet als an der ersten Elektrode.

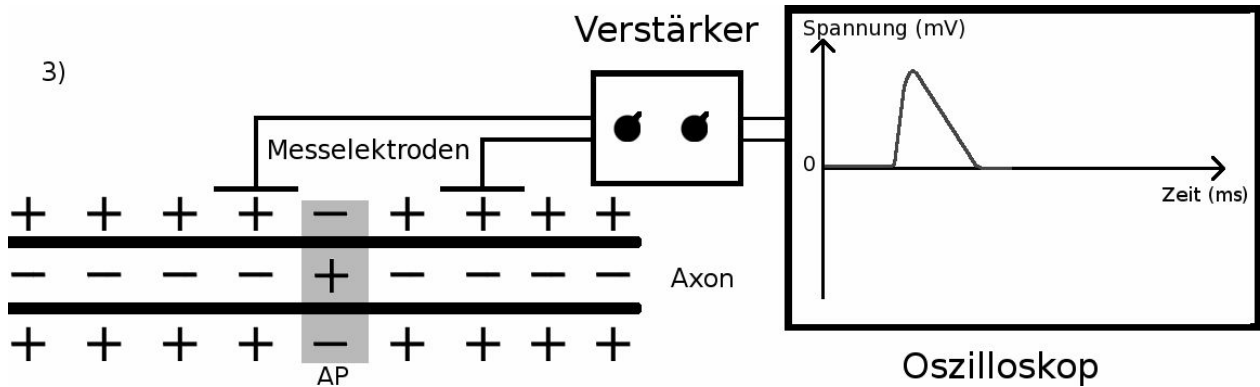


Abb. 2.2.3: Extrazelluläre Messung einer Nervenfasern: Das Aktionspotential befindet sich zwischen den Messelektroden.

Als Nächstes gelangt das Aktionspotential zur zweiten Elektrode. Das Aktionspotential verursacht dort eine Ladungsumkehr, wohingegen bei der ersten Elektrode das Ruhepotential der Nervenfasern und damit die ursprüngliche Ionenverteilung wieder erreicht wurden (s. Abb. 2.2.4).

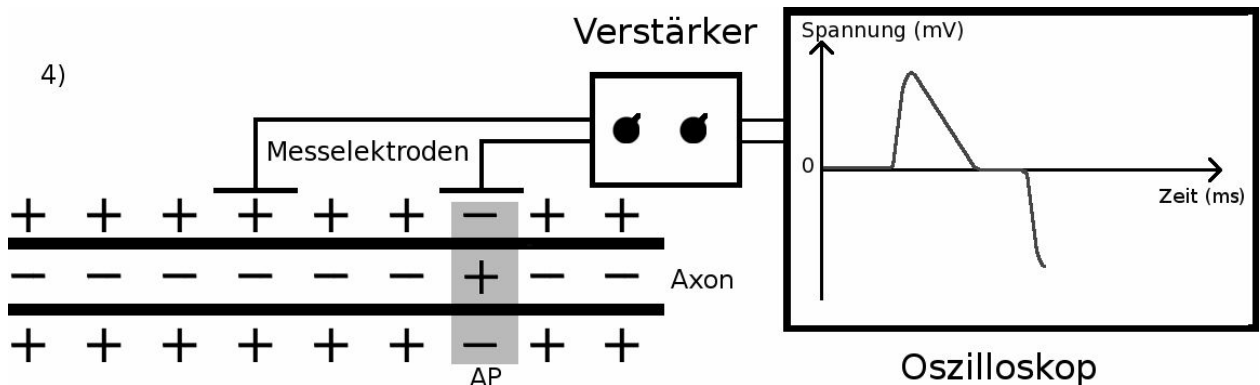


Abb. 2.2.4: Extrazelluläre Messung einer Nervenfasern: Das Aktionspotential befindet sich an der zweiten Messelektrode.

Wenn sich auch an der zweiten Elektrode das Ruhepotential wieder eingestellt hat, können wir im Idealfall ein negatives Spiegelbild des ersten Ausschlages messen (s. Abb. 2.2.5). Das liegt daran, dass im Vergleich zum ersten Spannungsausschlag die Ladungsdifferenz genau umgekehrt ist. Während beim ersten Spannungsausschlag die erste Messelektrode eine negativere Ladung als die zweite besaß, ist es beim zweiten Spannungsausschlag genau andersherum. Die erste Messelektrode misst eine positivere und die zweite eine negativere Ladung. Da das Aktionspotential während seiner Weiterleitung gleich stark bleibt, ist die gemessene Ladungsdifferenz (abgesehen vom Vorzeichen) zwischen den beiden Messelektroden (s. Abb. 2.2.2 und 2.2.4) gleich groß.

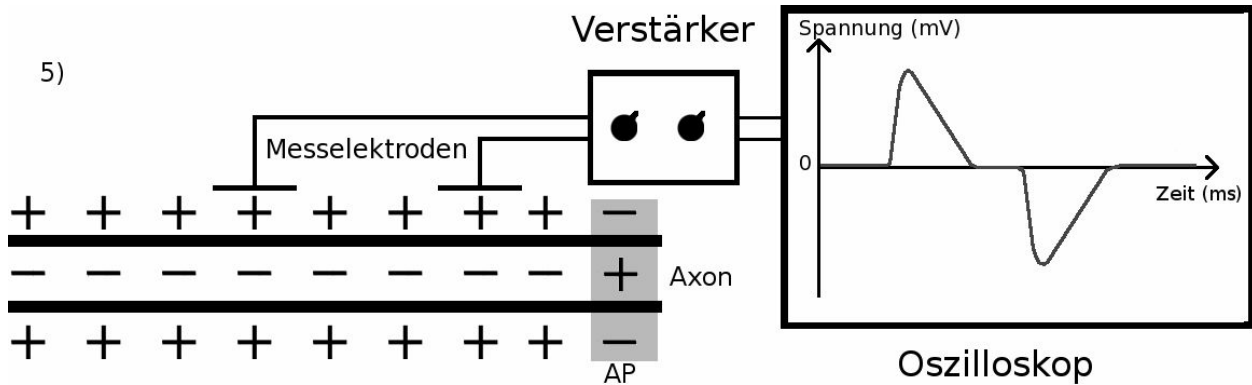


Abb. 2.2.5: Extrazelluläre Messung einer Nervenfaseroberfläche: Das Aktionspotenzial hat die beiden Messelektroden passiert und das Oszilloskop hat nun das gesamte biphasische Aktionspotenzial dargestellt.

Den Verlauf mit positivem und anschließendem negativem Ausschlag nennt man biphasisch; er besteht aus zwei Phasen. (Der negative Ausschlag entspricht nicht der intrazellulär gemessenen Hyperpolarisation!) Bei der extrazellulären Messung wird dementsprechend ein Aktionspotenzial mit einem biphasischen Signal abgebildet.

Da Sie in unserem Experiment mit Originaldaten arbeiten, werden Sie Abweichungen von diesem theoretischen Verlauf eines extrazellulär aufgenommenen Aktionspotenzials feststellen. Vor und nach einem Aktionspotenzial weichen die Messungen von 0 mV leicht ab. Zusätzlich – aufgrund der Nähe der Elektroden zueinander – überlagern sich unsere beiden Spannungsausschläge (s. Abb. 2.2.6).

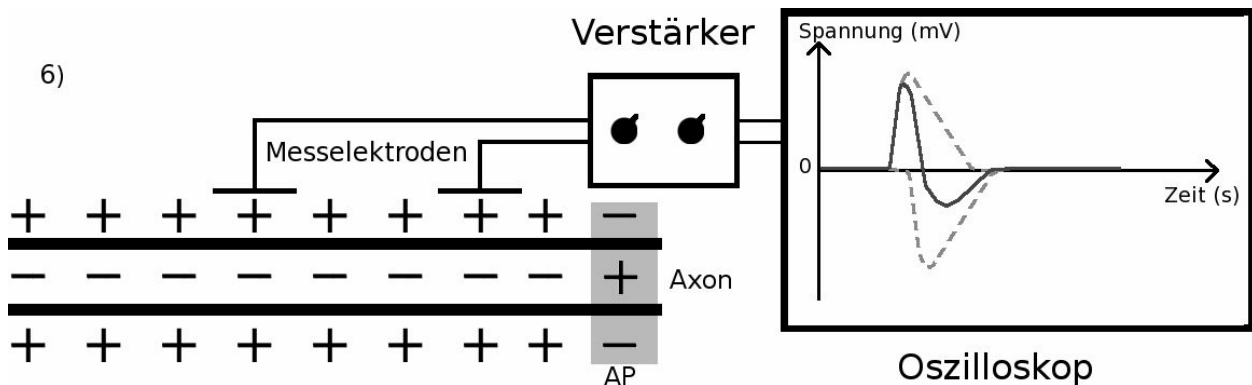


Abb. 2.2.6: Extrazelluläre Messung einer Nervenfaseroberfläche: Die zwei Phasen (gestrichelte Linien), die sonst das biphasische Aktionspotenzial bilden, verrechnen sich (durchgezogene Linie).

Wir erhalten lediglich ein schwaches biphasisches Signal; lediglich der erste Ausschlag ist deutlich zu erkennen. Achtung: Der Kurvenverlauf ähnelt einem intrazellulär aufgenommenen Aktionspotenzial, unterscheidet sich jedoch deutlich durch die unterschiedlichen Spannungswerte! Da wir von außen an der Regenwurmhaut messen, kommt hinzu, dass unsere Messwerte ungenauer sind, als wenn wir direkt am Axon messen würden.

3 Refraktärzeit

Die Refraktärzeit ist die Zeit nach einem Aktionspotenzial, in der entweder gar kein zweites Aktionspotenzial (**absolute Refraktärzeit**, s. Abb. 3.1-A) oder ein Aktionspotenzial mit einer geringeren Amplitude ausgelöst werden kann (**relative Refraktärzeit**, s. Abb. 3.1-B und -C).

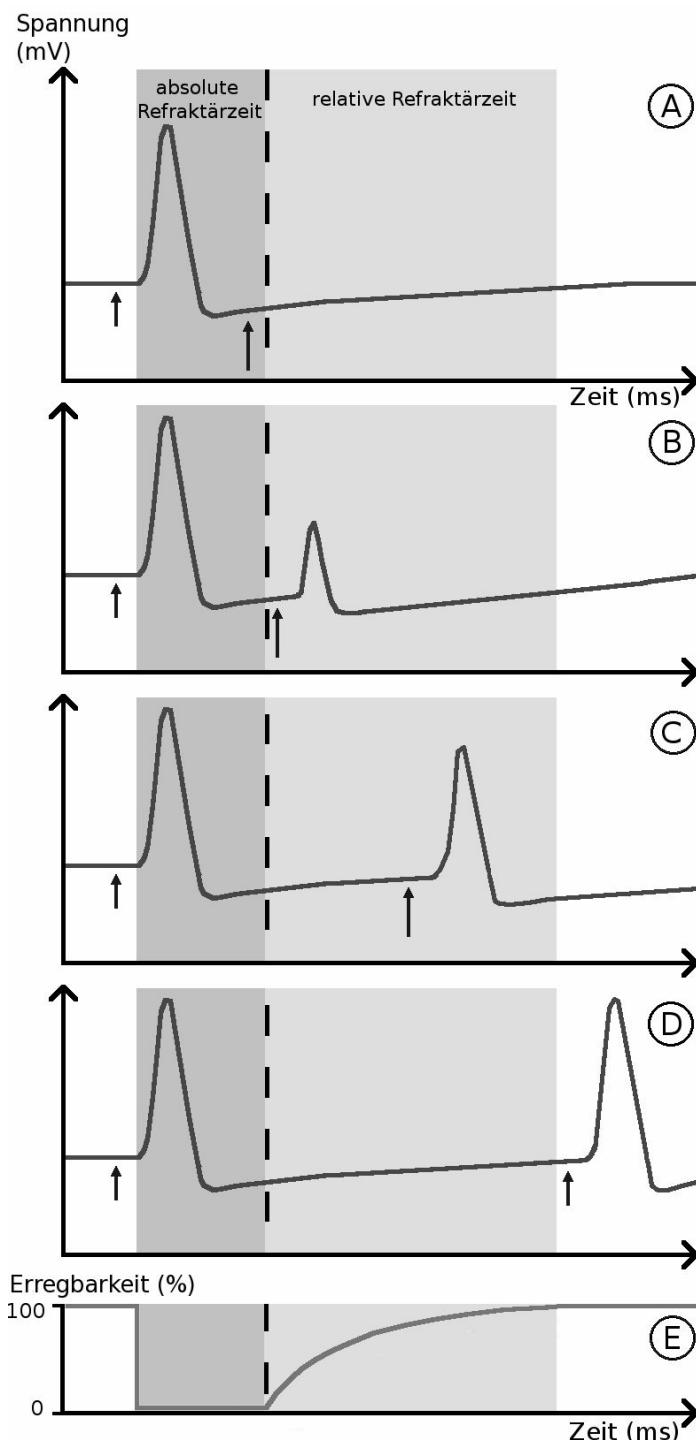


Abb. 3.1: A - D: Darstellung der relativen und absoluten Refraktärzeit bei einer intrazellulären Messung, der Pfeil stellt den Reiz und den Zeitpunkt des Reizes dar, der längerer Pfeil steht für einen sehr starken Reiz.

A: In der absoluten Refraktärzeit kann kein zweites Aktionspotenzial ausgelöst werden.

B, C: In der relativen Refraktärzeit kann ein starker Reiz ein zweites (schwächeres) Aktionspotenzial auslösen.

D: Nach der Refraktärzeit erreichen Aktionspotenziale wieder ihre normale Größe.

E: Darstellung der Erregbarkeit der Axonstelle in Prozent, mit der ein zweites Aktionspotenzial ausgelöst werden kann.

Ein Grund für die Entstehung der Refraktärzeit sind die Öffnungs- und Schließmechanismen der Natrium-Kanäle. Spannungsabhängige Natrium-Kanäle besitzen ein Aktivierungstor und ein Inaktivierungstor. Im Grundzustand sind die Aktivierungstore der Natrium-Kanäle geschlossen, sodass keine Natrium-Ionen dem Konzentrationsgefälle folgend von außen in

das Axon eindringen können; die Inaktivierungstore sind im Grundzustand offen und zu diesem Zeitpunkt ohne Funktion (s. Abb. 3.2.1). Wenn die Spannung an der Axonmembran einen gewissen Schwellenwert erreicht, werden die Aktivierungstore geöffnet (s. Abb. 3.2.2). Natrium-Ionen können nun durch die Kanäle aus dem Außenmilieu in das Axon hineinströmen. Die Inaktivierungstore verschließen nach ca. 1 ms automatisch die geöffneten Kanäle (s. Abb. 3.2.3). Die Natrium-Kanäle können nun für ca. 1 ms nicht geöffnet werden, d. h., sie sind inaktiviert (= refraktär). Dieser Zeitraum, in dem die Kanäle inaktiviert sind, beschreibt die absolute Refraktärzeit, in der keine Aktionspotenziale ausgelöst werden können. Während der absoluten Refraktärzeit schließen sich auch die Aktivierungstore (s. Abb. 3.2.4).

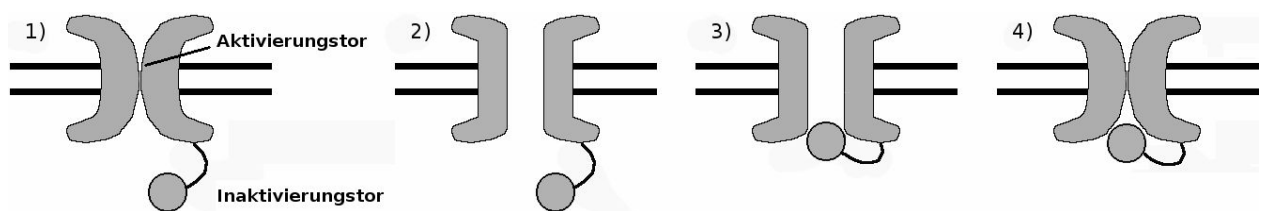



Abb. 3.2: Unterschiedliche Zustände eines spannungsgesteuerten Natrium-Kanals: 1) Grundzustand, 2) nach Spannungsanstieg: geöffneter Natrium-Kanal, 3) ca. 1 ms nach Öffnung: geschlossener Natrium-Kanal, 4) Natrium-Kanal mit geschlossenem Aktivierungstor und Inaktivierungstor.

In der relativen Refraktärzeit öffnen sich nun nach und nach die Inaktivierungstore, sodass (bei starker Reizung) ein Aktionspotenzial ausgelöst werden kann. Allerdings besitzt dieses zweite Aktionspotenzial eine geringere Amplitude als das erste (s. Abb. 3.1-B und -C), da weniger Natrium-Kanäle für den Einstrom von Natrium-Ionen zur Verfügung stehen. Wenn alle Kanäle nicht mehr inaktiviert sind, ist das Ende der relativen Refraktärzeit erreicht. Die Amplitude des zweiten Aktionspotenzials entspricht wieder der normalen Größe (s. Abb. 3.1-D).

Der zweite Grund für die Refraktärzeit ist der Ausstrom von Kalium-Ionen aus der Nervenzelle; dieser Ausstrom führt erst zur Repolarisation und anschließend zur Hyperpolarisation des Aktionspotenzials. Um in der Phase der Hyperpolarisation den Schwellenwert zu erreichen und dadurch ein Aktionspotenzial auszulösen, müssen die Reize in der relativen Refraktärzeit stärker sein, als während des Ruhepotenzials. Da die ausströmenden Kalium-Ionen einer Depolarisation durch einströmende Natrium-Ionen entgegen wirken, fällt die Ladungsumkehr geringer aus. Dies ist ein weiterer Grund, warum Aktionspotenziale in der relativen Refraktärzeit eine geringere Amplitude besitzen. Erst wenn das Membranpotenzial nach dem Aktionspotenzial wieder das Ruhepotenzial erreicht, sind die Kalium-Kanäle geschlossen.

In unserem Experiment werden Sie mit Hilfe zweier hintereinander folgender elektrischer Reize die absolute und die relative Refraktärzeit bestimmen.

A-3 Protokoll des Realexperiments und des Virtuellen Experiments**Protokoll: „Aktionspotenziale beim Regenwurm**

Jedes Mal, wenn dieses Symbol  auftaucht, sollten Sie einen Blick in ihr Protokoll nehmen. Denken Sie daran, bei allen Messungen (Zeiten, Geschwindigkeiten, Strecken) die jeweilige Einheit mit zu notieren.

V1: Auslösen von Aktionspotenzialen an der mittleren Riesenfaser

Erklären Sie, wie man Aktionspotenziale beim Regenwurm auslösen kann.

Erklären Sie, a) was ein Reizartefakt ist und b) wie es entsteht.

Welche Reizschwelle haben Sie ermittelt: _____

Untersuchen Sie die Aktionspotenziale der beiden Aufnahmen (0.2 V bzw. 0.4 V über der Reizschwelle) hinsichtlich der Latenz (Zeit von Reiz bis Maximum Aktionspotenzial) und der Amplitude (Minimum – Maximum des Aktionspotenzials).

Reizschwelle + 0.2 V: Latenz: _____

Amplitude_{Aktionspotenzial}: _____

Reizschwelle + 0.4 V: Latenz: _____

Amplitude_{Aktionspotenzial}: _____

Welche Beobachtung machen Sie?

V2: Berechnung der Leitungsgeschwindigkeit für die mittlere Riesenfaser

Streckenlänge (Strecke 1): _____ Latenz (Strecke 1): _____

Streckenlänge (Strecke 2): _____ Latenz (Strecke 2): _____

Berechnen Sie nun die Geschwindigkeit der mittleren Riesenfaser, mit der Aktionspotenziale weitergeleitet werden:

$$v \text{ (Leitung)} = (s_2 - s_1) / (t_2 - t_1) = \underline{\hspace{2cm}}$$

Überlegen Sie, was könnte die Leitungsgeschwindigkeit von Aktionspotenzialen beeinflussen?

V3: Bestimmung der absoluten und der relativen Refraktärzeit

Notieren Sie ihre ermittelten Werte für die absolute und für die relative Refraktärzeit.

Absolute Refraktärzeit: _____ Relative Refraktärzeit: _____

Erklären Sie, warum die Nervenzelle direkt nach einem Aktionspotenzial kein weiteres Aktionspotenzial auslösen kann.

Vergleichen Sie die Amplituden der beiden aufeinanderfolgenden Aktionspotenziale. Erklären Sie, warum das zweite Aktionspotenzial nach der absoluten Refraktärzeit kleiner ausfällt.

Was vermuten Sie, würde bezüglich der ermittelten Refraktärzeiten passieren, wenn wir mit einer stärkeren Spannung gereizt hätten?

V4: Messung der Bidirektionalität

Wie kann man Bidirektionalität nachweisen?

Erklären Sie Bidirektionalität.

Untersuchen Sie Aufnahme 1 und 2 hinsichtlich ihrer Latenz und ihrer Amplitude:

Latenz (Aufnahme 1): _____ Amplitude_{Aktionspotenzial} (Aufnahme 1): _____

Latenz (Aufnahme 2): _____ Amplitude_{Aktionspotenzial} (Aufnahme 2): _____

Welche Beobachtung können Sie feststellen?

Können Sie diese Beobachtung erklären?

Bidirektionalität kommt nur bei Reizung von außen vor. Warum wird normalerweise ein Aktionspotenzial nicht „rückwärts“ geleitet, was verhindert eine Leitung in die andere Richtung?

A-4 Lösung des Protokolls „Aktionspotenziale beim Regenwurm“ für das Realexperiment**Lösung des Protokolls „Aktionspotenziale beim Regenwurm“**

Achtung: Nicht jede Antwort ist immer die allein Gültige. Alle „Zahlen“ sind nur Beispiele, ihre Ergebnisse werden davon abweichen!!!

V1: Auslösen von Aktionspotenzialen an der mittleren Riesenfaser

Erklären Sie, wie man Aktionspotenziale beim Regenwurm auslösen kann.

Wir reizen den Regenwurm extrazellulär. Der Reiz in Form eines Spannungsausschlages wird mit Hilfe des Reizgenerators eingestellt. Durch die angelegte Spannung verändern sich die Ionen im Axon, sodass die Zelle über der Kathode depolarisiert. Wenn der Reiz ausreichend stark war, depolarisiert die Zelle über den Schwellenwert und ein Aktionspotenzial wird ausgelöst.

Erklären Sie, die Entstehung eines Reizartefaktes.

Durch das Anlegen einer Spannung von außen, entsteht ein nicht-biologisches Signal, das sich über die Haut des Regenwurms ausbreitet. Das Signal wird direkt von den Messelektroden aufgenommen, sodass das Reizartefakt in unserer Messung zeitgleich mit dem Reiz dargestellt wird.

Welche Reizschwelle haben Sie ermittelt: z.B. 700 mV

Untersuchen Sie die Aktionspotenziale der beiden Aufnahmen (700 mV und 1 V) hinsichtlich der Latenz (Zeit von Reiz bis Maximum Aktionspotenzial) und der Amplitude (Minimum – Maximum des Aktionspotenzials).

Latenz (700 mV): ca. 2,3 ms Amplitude_{Aktionspotenzial} (700 mV): ca. 0,06 mV

Latenz (1,1 V): ca. 2,3ms Amplitude_{Aktionspotenzial} (1 V) : ca. 0,06 mV

Welche Beobachtung machen Sie?

Latenz und Amplitude sind gleich.

V2: Berechnung der Leitungsgeschwindigkeit für die mittlere Riesenfaser

Länge (Strecke 1): 40 mm Latenz (Strecke 1): ca. 2,2 ms

Länge (Strecke 2): 80 mm Latenz (Strecke 2): ca. 3,7 ms

Berechnen Sie nun die Geschwindigkeit der mittleren Riesenfaser, mit der Aktionspotenziale weitergeleitet werden:

$V(\text{Leitung}) = (s_2 - s_1) / (t_2 - t_1) = \underline{40 \text{ mm} / 1,5 \text{ ms} = 26,67 \text{ m/s}}$

Überlegen Sie, was könnte die Leitungsgeschwindigkeit von Aktionspotenzialen beeinflussen?

Durchmesser: Je größer der Durchmesser, desto geringer ist der elektrische Widerstand um ein neues Aktionspotenzial zu bilden; d.h. die Zeit, um ein neues Aktionspotenzial an der nächsten Stelle zu bilden, ist geringer und dementsprechend benötigt das elektrische Signal weniger Zeit um ans „andere“ Ende zu gelangen. Die Geschwindigkeit wird größer.

Myelinisierung: Liegt das Axon myelinisiert vor, muss das Aktionspotenzial nur im Bereich der Schnürringe gebildet werden. Es springt also von Schnürring zu Schnürring (saltatorische Erregungsleitung) und ist folglich deutlich schneller als bei der kontinuierlichen Erregungsleitung (Zündschnurprinzip).

V3: Bestimmung der absoluten und der relativen Refraktärzeit

Notieren Sie ihre ermittelten Werte für die absolute und für die relative Refraktärzeit.

Absolute Refraktärzeit: 1,4 ms Relative Refraktärzeit: ca. 4 ms

Erklären Sie, warum die Nervenzelle direkt nach einem Aktionspotenzial kein weiteres Aktionspotenzial auslösen kann.

Die spannungsabhängigen Natriumkanäle sind direkt nach einem Aktionspotenzial inaktiviert. Der Reiz kann noch so groß sein, die Natriumkanäle bleiben in diesem Zustand geschlossen. Man kann folglich kein zweites Aktionspotenzial auslösen.

Vergleichen Sie die Amplituden der beiden aufeinanderfolgenden Aktionspotenziale. Erklären Sie, warum das zweite Aktionspotenzial nach der absoluten Refraktärzeit kleiner ausfällt.

Wenn Natrium in das Axon einströmt, können wir das als eine positivere Spannungsänderung messen. Je mehr Natrium-Ionen in das Axon hineinströmen, desto positiver wird der Spannungsausschlag, die der Amplitude entspricht. Da noch einige Natriumkanäle inaktiviert vorliegen, strömt weniger Natrium in das Axon hinein und die Amplitude fällt kleiner aus, als wenn alle Natriumkanäle geöffnet wären.

Was vermuten Sie, würde bezüglich der ermittelten Refraktärzeiten passieren, wenn wir mit einer stärkeren Spannung gereizt hätten?

Die absolute Refraktärzeit wäre kleiner als 1,4 ms, da sich die Natriumkanäle bei starker Reizung schon nach 1 ms öffnen lassen.

Die relative Refraktärzeit würde aus demselben Grund ebenfalls geringer sein.

V4: Messung der Bidirektionalität

Wie kann man Bidirektionalität nachweisen?

Man überprüft, ob man das Aktionspotenzial auch in der entgegengesetzten Leitungsrichtung aufnehmen kann.

Erklären Sie Bidirektionalität.

Leitung in beide Richtungen; entsteht nur bei Reizung von außen.

Untersuchen Sie Aufnahme 1 und 2 hinsichtlich ihrer Latenz und ihrer Amplitude:

Latenz(Aufnahme 1): 2,4 ms Amplitude_{Aktionspotenzial} (Aufnahme 1): ca. 0,2 mV

Latenz(Aufnahme 2): 2,6 ms Amplitude_{Aktionspotenzial} (Aufnahme 2): ca. 0,2 mV

Welche Beobachtung können Sie feststellen?

Die Latenz wird bei der „unnatürlichen“ Leitungsrichtung größer, da die Leitungsgeschwindigkeit langsamer ist.

Die Amplitude bleibt gleich (Alles-oder-Nichts-Gesetz).

Können Sie diese Beobachtung erklären?

Die Nervenfaser besitzt eine natürliche Leitungsrichtung; sie ist so gebaut, dass sie in ihre natürliche Leitungsrichtung möglichst schnell Aktionspotenziale weiterleiten kann.

Die Amplitude bleibt immer gleich, da die Anzahl der einströmenden Ionen bei der Entstehung eines Aktionspotenzials sich nicht ändert.

Bidirektionalität kommt nur bei Reizung von außen vor. Warum wird normalerweise ein Aktionspotenzial nicht „rückwärts“ geleitet, was verhindert eine Leitung in die andere Richtung?

Ein Aktionspotenzial kann normalerweise nicht wieder „rückwärts“ geleitet werden, da die absolute Refraktärzeit dies verhindert.

(Bei mehreren Nervenfasern verhindert auch die Signalübertragung an Synapsen eine „Rückwärtsleitung“)

A-5 Lösung des Protokolls „Aktionspotenziale beim Regenwurm“ für das Virtuelle Experiment**Lösung des Protokolls „Aktionspotenziale beim Regenwurm“****V1: Auslösen von Aktionspotenzialen an der mittleren Riesenfaser**

Erklären Sie, wie man Aktionspotenziale beim Regenwurm auslösen kann.

Wir reizen den Regenwurm extrazellulär. Der Reiz in Form eines Spannungsauschlages wird mit Hilfe des Reizgenerators eingestellt. Durch die angelegte Spannung verändern sich die Ionen im Axon, sodass die Zelle über der Kathode depolarisiert. Wenn der Reiz ausreichend stark war, depolarisiert die Zelle über den Schwellenwert und ein Aktionspotenzial wird ausgelöst.

Erklären Sie, die Entstehung eines Reizartefaktes.

Durch das Anlegen einer Spannung von außen, entsteht ein nicht-biologisches Signal, das sich über die Haut des Regenwurms ausbreitet. Das Signal wird direkt von den Messelektroden aufgenommen, sodass das Reizartefakt in unserer Messung zeitgleich mit dem Reiz dargestellt wird.

Welche Reizschwelle haben Sie ermittelt: z.B. 700 mV

Untersuchen Sie die Aktionspotenziale der beiden Aufnahmen (700 mV und 1 V) hinsichtlich der Latenz (Zeit von Reiz bis Maximum Aktionspotenzial) und der Amplitude (Minimum – Maximum des Aktionspotenzials).

Latenz (700 mV): ca. 2,3 ms Amplitude_{Aktionspotenzial} (700 mV): ca. 0,06 mV

Latenz (1,1 V): ca. 2,3ms Amplitude_{Aktionspotenzial} (1 V) : ca. 0,06 mV

Welche Beobachtung machen Sie?

Latenz und Amplitude sind gleich.

V2: Berechnung der Leitungsgeschwindigkeit für die mittlere Riesenfaser

Länge (Strecke 1): 40 mm Latenz (Strecke 1): ca. 2,2 ms

Länge (Strecke 2): 80 mm Latenz (Strecke 2): ca. 3,7 ms

Berechnen Sie nun die Geschwindigkeit der mittleren Riesenfaser, mit der Aktionspotenziale weitergeleitet werden:

$V(\text{Leitung}) = (s_2 - s_1) / (t_2 - t_1) = \underline{40 \text{ mm} / 1,5 \text{ ms} = 26,67 \text{ m/s}}$

Überlegen Sie, was könnte die Leitungsgeschwindigkeit von Aktionspotenzialen beeinflussen?

Durchmesser: Je größer der Durchmesser, desto geringer ist der elektrische Widerstand um ein neues Aktionspotenzial zu bilden; d.h. die Zeit, um ein neues Aktionspotenzial an der nächsten Stelle zu bilden, ist geringer und dementsprechend

benötigt das elektrische Signal weniger Zeit um ans „andere“ Ende zu gelangen. Die Geschwindigkeit wird größer.

Myelinisierung: Liegt das Axon myelinisiert vor, muss das Aktionspotenzial nur im Bereich der Schnürringe gebildet werden. Es springt also von Schnürring zu Schnürring (saltatorische Erregungsleitung) und ist folglich deutlich schneller als bei der kontinuierlichen Erregungsleitung (Zundschnurprinzip).

V3: Bestimmung der absoluten und der relativen Refraktärzeit

Notieren Sie ihre ermittelten Werte für die absolute und für die relative Refraktärzeit.

Absolute Refraktärzeit: 1,4 ms Relative Refraktärzeit: ca. 4 ms

Erklären Sie, warum die Nervenzelle direkt nach einem Aktionspotenzial kein weiteres Aktionspotenzial auslösen kann.

Die spannungsabhängigen Natriumkanäle sind direkt nach einem Aktionspotenzial inaktiviert. Der Reiz kann noch so groß sein, die Natriumkanäle bleiben in diesem Zustand geschlossen. Man kann folglich kein zweites Aktionspotenzial auslösen.

Vergleichen Sie die Amplituden der beiden aufeinanderfolgenden Aktionspotenziale. Erklären Sie, warum das zweite Aktionspotenzial nach der absoluten Refraktärzeit kleiner ausfällt.

Wenn Natrium in das Axon einströmt, können wir das als eine positivere Spannungsänderung messen. Je mehr Natrium-Ionen in das Axon hineinströmen, desto positiver wird der Spannungsausgang, die der Amplitude entspricht. Da noch einige Natriumkanäle inaktiviert vorliegen, strömt weniger Natrium in das Axon hinein und die Amplitude fällt kleiner aus, als wenn alle Natriumkanäle geöffnet wären.

Was vermuten Sie, würde bezüglich der ermittelten Refraktärzeiten passieren, wenn wir mit einer stärkeren Spannung gereizt hätten?

Die absolute Refraktärzeit wäre kleiner als 1,4 ms, da sich die Natriumkanäle bei starker Reizung schon nach 1 ms öffnen lassen.

Die relative Refraktärzeit würde aus dem selben Grund ebenfalls geringer sein.

V4: Messung der Bidirektionalität

Wie kann man Bidirektionalität nachweisen?

Man überprüft, ob man das Aktionspotenzial auch in der entgegengesetzten Leitungsrichtung aufnehmen kann.

Erklären Sie Bidirektionalität.

Leitung in beide Richtungen; entsteht nur bei Reizung von außen.

Untersuchen Sie Aufnahme 1 und 2 hinsichtlich ihrer Latenz und ihrer Amplitude:

Latenz(Aufnahme 1):_2,4 ms_ Amplitude_{Aktionspotenzial} (Aufnahme 1):_ca. 0,2 mV

Latenz(Aufnahme 2):_2,6 ms_ Amplitude_{Aktionspotenzial} (Aufnahme 2):_ca. 0,2 mV

Welche Beobachtung können Sie feststellen?

Die Latenz wird bei der „unnatürlichen“ Leitungsrichtung größer, da die Leitungsgeschwindigkeit langsamer ist.

Die Amplitude bleibt gleich (Alles-oder-Nichts-Gesetz).

Können Sie diese Beobachtung erklären?

Die Nervenfasern besitzen eine natürliche Leitungsrichtung; sie sind so gebaut, dass sie in ihre natürliche Leitungsrichtung möglichst schnell Aktionspotenziale weiterleiten können.

Die Amplitude bleibt immer gleich, da die Anzahl der einströmenden Ionen bei der Entstehung eines Aktionspotenzials sich nicht ändert.

Bidirektionalität kommt nur bei Reizung von außen vor. Warum wird normalerweise ein Aktionspotenzial nicht „rückwärts“ geleitet, was verhindert eine Leitung in die andere Richtung?

Ein Aktionspotenzial kann normalerweise nicht wieder „rückwärts“ geleitet werden, da die absolute Refraktärzeit dies verhindert.

(Bei mehreren Nervenfasern verhindert auch die Signalübertragung an Synapsen eine „Rückwärtsleitung“)

A-6 Das Virtuelle Experiment

Das Virtuelle Experiment ist verfügbar auf folgender Internetseite:

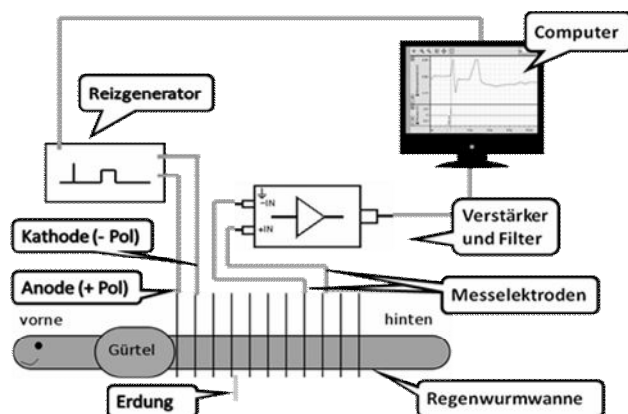
www.e-sev.de/bauer

Benutzername: kurs

Passwort: RegenWurmAP

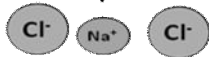
A-7 Unterrichtsmaterialien der Kontrollgruppe**Selbsterneinheit „Aktionspotenziale beim Regenwurm“****Einleitung**

Diese Selbsterneinheit basiert auf einem Experiment, bei dem man Aktionspotenziale an der mittleren Riesenfaser beim Regenwurm untersucht. Das Experiment besteht aus vier Teilversuchen.

Versuchsaufbau**Reizgenerator:**

Ein Reizgenerator bzw. Stimulator ist ein Gerät, das einen oder mehrere elektrische Reize in einem kurzen Zeitraum abgibt. Die Reizung erfolgt in diesem Experiment über das Anlegen einer elektrischen Spannung zwischen Anode und Kathode. Bei der elektrischen Spannung handelt es sich um eine Ladungsdifferenz zwischen zwei Bezugspunkten. Je höher die Differenz der Ladungen, desto höher ist die Spannung.

Bezugspunkt A



Bezugspunkt B

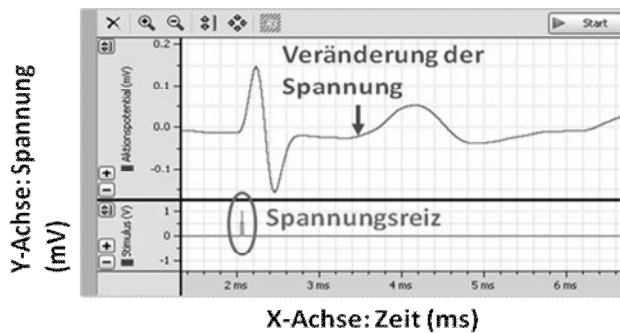
Verstärker und Filter:

Ein Verstärker ist ein Gerät, das ein eingehendes elektrisches Signal so verarbeitet, dass der Ausgangswert größer ist als der Eingangswert. Er verstärkt also die Messwerte, so dass diese besser mit Hilfe des Computerprogrammes dargestellt werden können.

Der Filter unterdrückt bzw. schwächt unerwünschte elektrische Signale ab.

Computer:

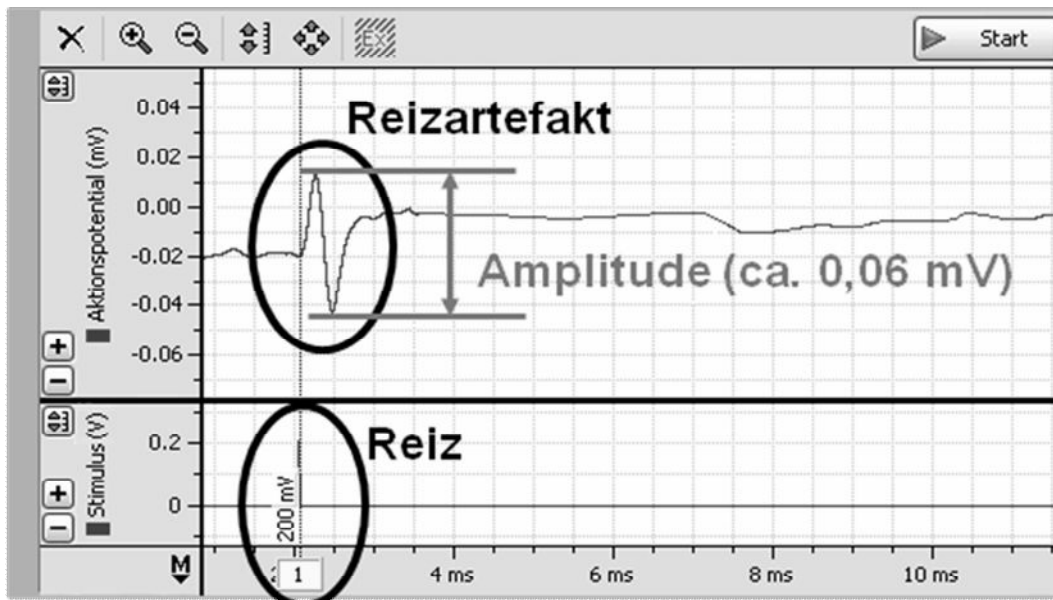
Mit Hilfe eines Darstellungsprogrammes können elektrische Signale visualisiert werden.



In unserem Fall werden im unteren Bildbereich die Spannungsreize des Reizgenerators und im oberen die gemessenen Spannungsänderungen dargestellt.

V1: Auslösen von Aktionspotenzialen an der mittleren Riesenfaser

Um Messungen auswerten zu können, muss man zuerst Aktionspotenziale von einem Reizartefakt unterscheiden können.



Bei einer Spannung von 0,2 V werden Sie keine Aktionspotenziale auslösen, da die Spannung unter der Reizschwelle (Wert bei dem ein Aktionspotential ausgelöst wird) liegt.

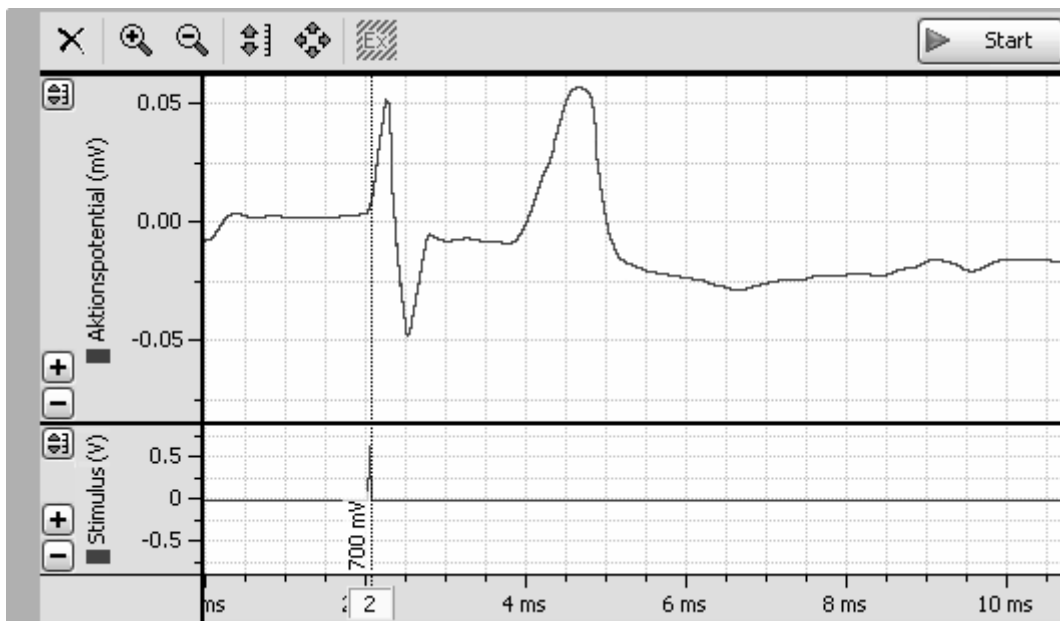
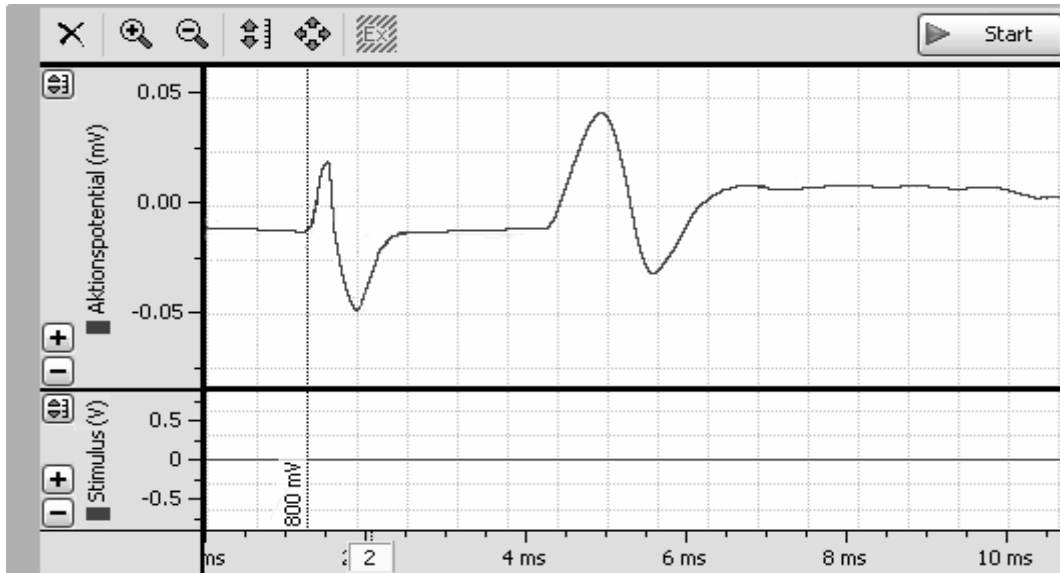
Das Reizartefakt ist ein nicht biologisches Signal, das durch die angelegte Spannung zwischen Anode und Kathode entsteht. Dieses Signal breitet sich über die Haut des Regenwurms aus und wird so zu den Messelektroden weitergeleitet.

Das Signal entsteht zeitgleich mit der Reizung. Die Aufzeichnung des Artefaktes sollte ca. 1 ms lang sein. Die Amplitude (Maximum-Minimum) des Reizartefaktes kann unterschiedlich sein; sie ist abhängig von der Reizstärke und der Feuchtigkeit der Haut.

Aufgabe 1.1:

- Erklären Sie, wie man Aktionspotenziale beim Regenwurm auslösen kann.

b) Erklären Sie die Entstehung eines Reizartefaktes.



Aufgabe 1.2:

Sie sehen zwei Aufnahmen mit Spannungsreizen von 700 und 800 mV.

- Untersuchen Sie für beide Aufnahmen die Latenz (Zeit von Reizung bis Aktionspotential; verwenden Sie hierbei für ihre Messung das Maximum des Aktionspotenzials).
- Untersuchen Sie für beide Aufnahmen die Amplitude des Aktionspotenzials (Minimum vor AP bis Maximum AP).

Latenz (800 mV): _____ Amplitude_{Aktionspotenzial} (800 mV): _____

Latenz (700 mV): _____ Amplitude_{Aktionspotenzial} (700 mV): _____

- c) Erklären Sie das Alles-oder-Nichts-Gesetz mit Hilfe dieser beiden Aufnahmen.

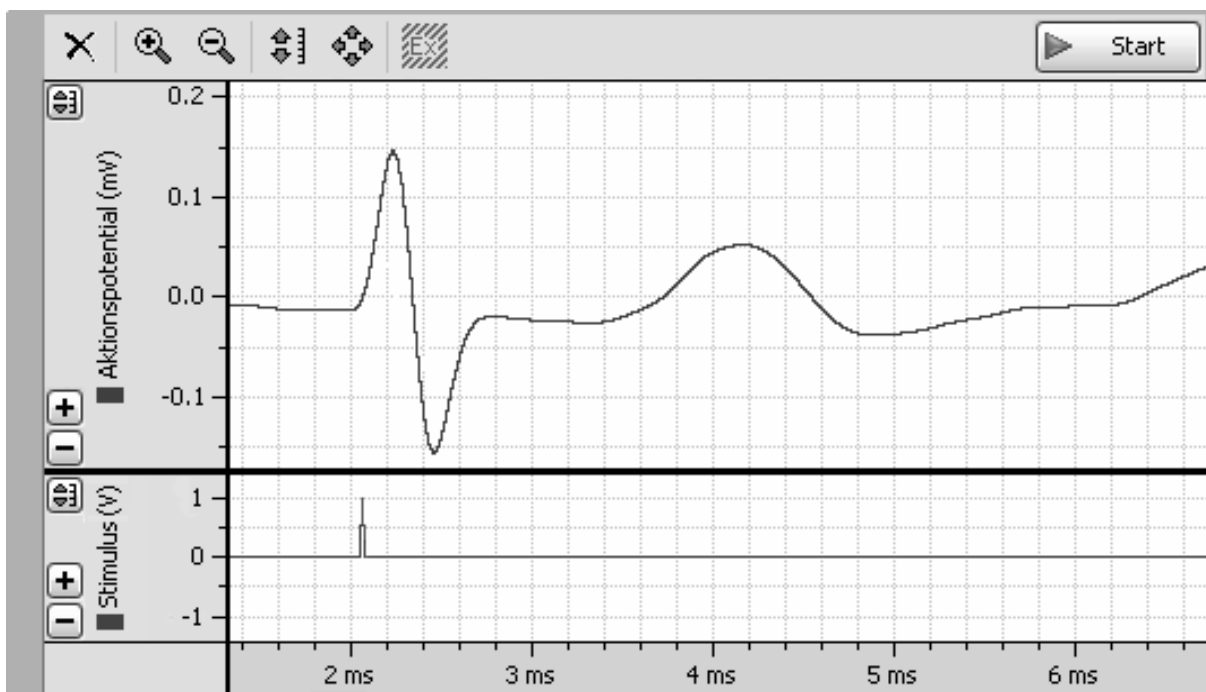
V2: Berechnung der Leitungsgeschwindigkeit für die mittlere Riesenfaser

Aufgabe 2.1:

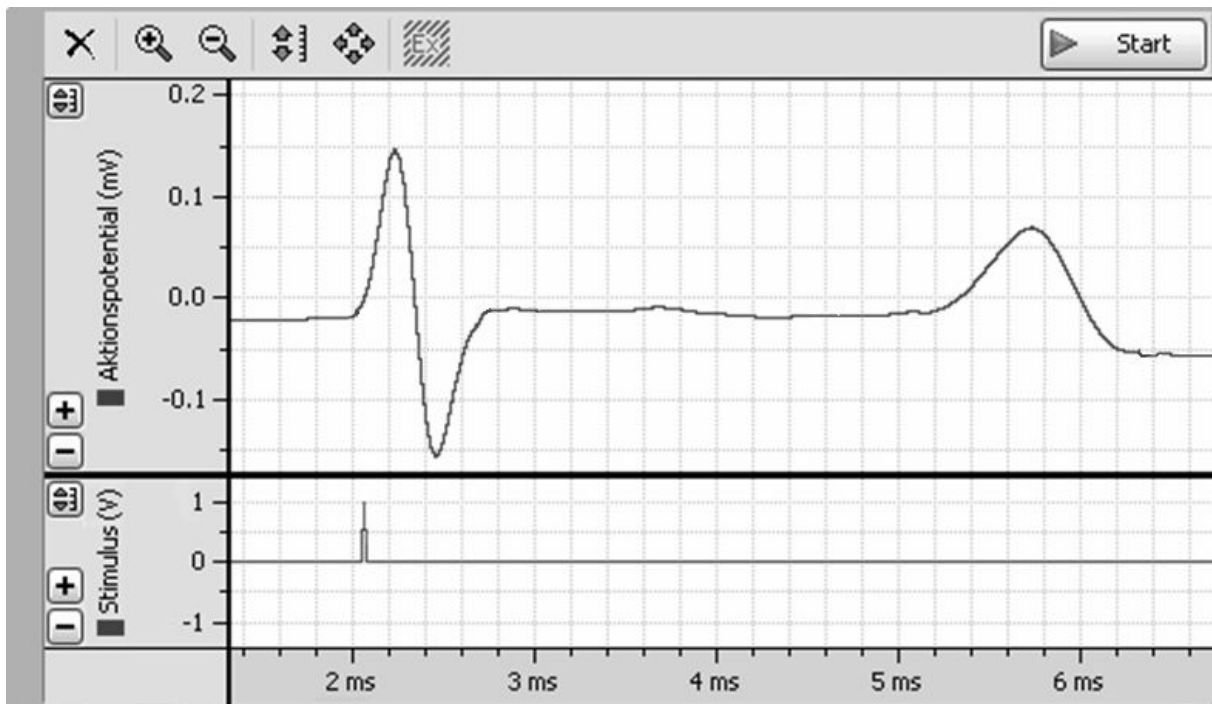
Stellen Sie eine Hypothese auf, wie man die Leitungsgeschwindigkeit (v) an einer Nervenfasern ermitteln kann.

Berechnung der Leitungsgeschwindigkeit

Um die Leitungsgeschwindigkeit zu ermitteln, arbeiten wir im Prinzip mit der Formel $v = s/t$. Die Latenz ist die Zeit (t), die das Aktionspotenzial benötigt, um vom Reizort (Kathode) bis zu den Messelektroden zu gelangen. Die Strecke (s) ist die Distanz von Kathode bis zur ersten Messelektrode. Um eine möglichst genaue Leitungsgeschwindigkeit zu berechnen, machen wir entlang des Regenwurms von einem kürzeren und einem längeren Abschnitt Messungen. Anschließend werden wir die Leitungsgeschwindigkeit über die Formel $v = (s_2 - s_1) / (t_2 - t_1)$ berechnen. Durch die Differenz berechnen wir die Geschwindigkeit von dem Abschnitt Ende Strecke 1 bis Ende Strecke 2. Dadurch werden die Messungenauigkeiten, die im Bereich der Reizung entstehen, beseitigt.



Aufnahme von Strecke 1 (= 40 mm)



Aufnahme von Strecke 2 (= 80 mm)

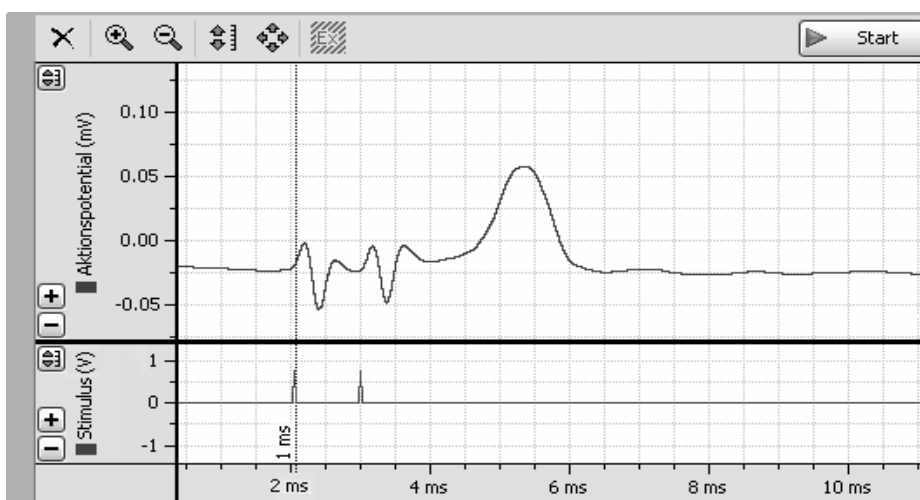
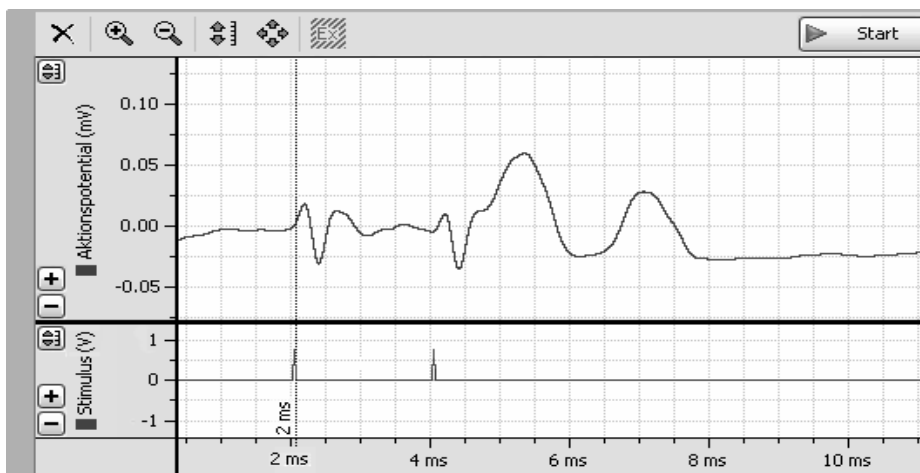
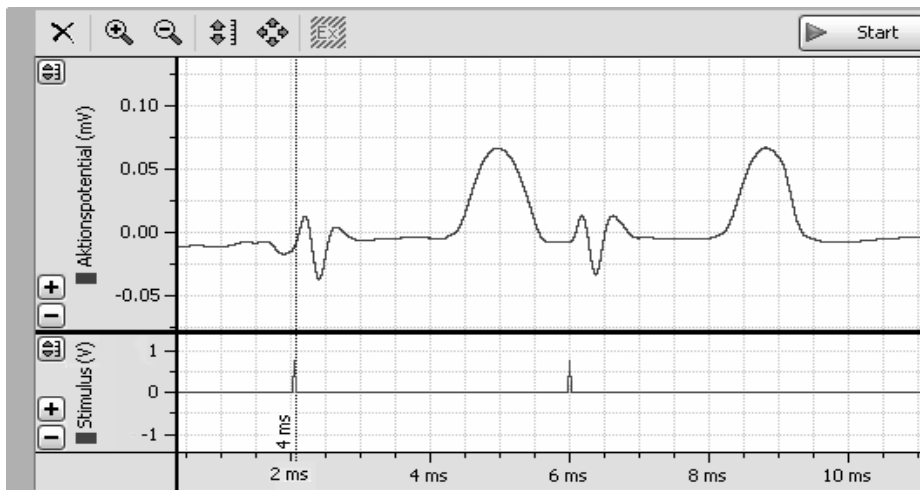
Aufgabe 2.2:

- a) Berechnen Sie die Leitungsgeschwindigkeit für die mittlere Riesenfaser des Regenwurms.

- b) Stellen Sie Vermutungen auf, was die Leitungsgeschwindigkeit von Aktionspotentialen beeinflussen könnte.

V3: Bestimmung der absoluten und der relativen Refraktärzeit

Aufgabe 3.1: Untersuchen Sie die folgenden Aufnahmen, welche Beobachtungen können Sie feststellen.



Die **absolute Refraktärzeit** ist der Zeitraum, in dem die Nervenzelle nach einem ausgelösten Aktionspotential nicht erneut auf einen zweiten Reiz reagieren kann.

Die **relative Refraktärzeit** ist der Zeitraum, in dem bei einer zweiten Reizung das Aktionspotential keine vollständige Amplitude erreicht.

Aufgabe 3.2:

- a) Erklären Sie, warum die Nervenzelle direkt nach einem Aktionspotenzial kein weiteres Aktionspotenzial auslösen kann.
- b) Erklären Sie, warum das zweite Aktionspotenzial nach der absoluten Refraktärzeit kleiner ausfällt. (2. Abbildung: Reizintervall 2 ms)

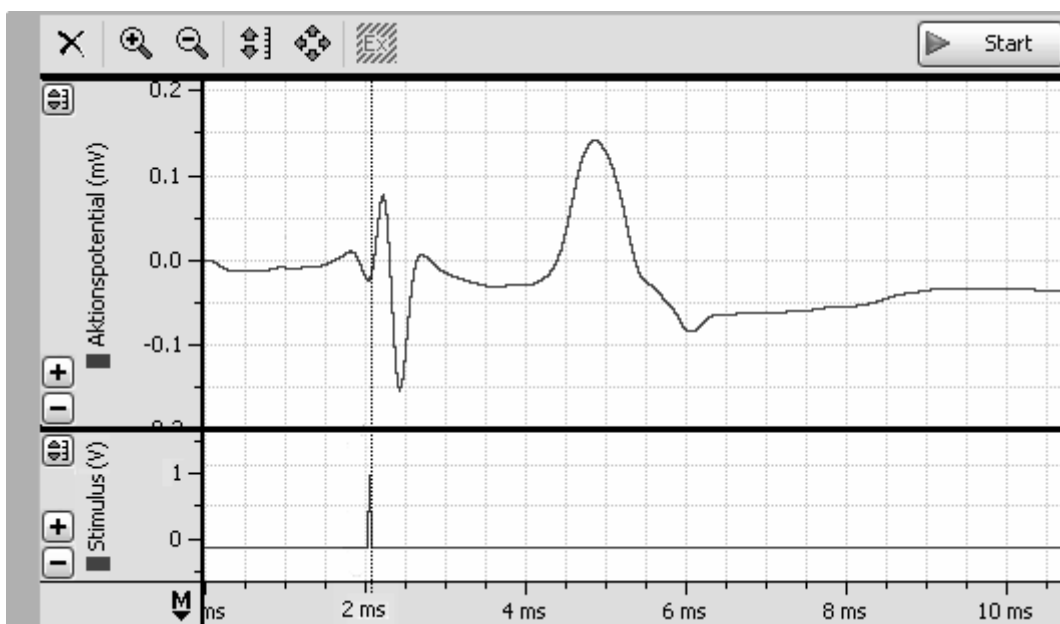
V4: Messung der Bidirektionalität (Freiwillig)

In diesem Teilversuch werden Sie die Nervenzelle auf Bidirektionalität hin untersuchen. **Bidirektionalität** bedeutet Leitung in beide Richtungen und entsteht nur bei elektrischer Reizung von außen.

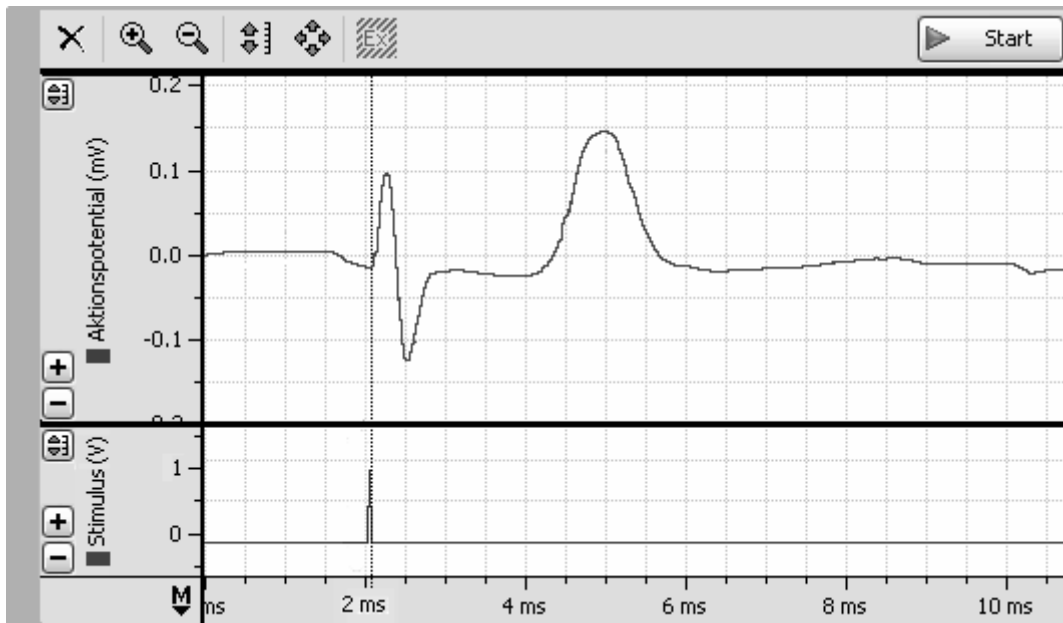
Aufgabe 4.1:

Überlegen Sie, wie man nachweisen könnte, dass Nervenfasern durch elektrische Reizung Aktionspotenziale in beide Richtungen leiten können, also auch in die „falsche“ Richtung.

Um Bidirektionalität zu überprüfen, reizen Sie einmal vorne am Regenwurm, und messen Signale hinten (normale Reizleitung) und ein ander Mal reizen Sie an einem hinteren Regenwurmsegment und messen vorne die Signale. Folgende Messungen sind dabei herausgekommen:



Aufnahme 1: Messung eines Aktionspotenzials von Vorne nach Hinten



Aufnahme 2: Messung eines Aktionspotenzials von Hinten nach Vorne

Aufgabe 4.2:

- Erklären Sie Bidirektionalität.
- Untersuchen Sie Aufnahme 1 und 2 hinsichtlich ihrer Latenz und ihrer Amplitude:

Latenz(Aufnahme 1): _____ Amplitude_{Aktionspotenzial} (Aufnahme 1): _____

Latenz(Aufnahme 2): _____ Amplitude_{Aktionspotenzial} (Aufnahme 2): _____

- Welche Beobachtung können Sie feststellen?
- Können Sie diese Beobachtung erklären?
- Bidirektionalität kommt nur bei Reizung von außen vor. Warum wird normalerweise ein Aktionspotenzial nicht „rückwärts“ geleitet, was verhindert eine Leitung in die andere Richtung?

A-8 Lösungen zu den Unterrichtsmaterialien der Kontrollgruppe**Lösungsblatt Selbstlerneinheit „Aktionspotenziale beim Regenwurm“****Aufgabe 1.1:**

- a) Erklären Sie, wie man Aktionspotenziale beim Regenwurm auslösen kann.

Wir reizen den Regenwurm extrazellulär. Der Reiz in Form eines Spannungsauschlages wird mit Hilfe des Reizgenerators eingestellt. Durch die angelegte Spannung verändern sich die Ionen im Axon, sodass die Zelle über der Kathode depolarisiert. Wenn der Reiz ausreichend stark war, depolarisiert die Zelle über den Schwellenwert und ein Aktionspotenzial wird ausgelöst.

- b) Erklären Sie die Entstehung eines Reizartefaktes.

Durch das Anlegen einer Spannung von außen, entsteht ein nicht-biologisches Signal, das sich über die Haut des Regenwurms ausbreitet. Das Signal wird direkt von den Messelektroden aufgenommen, sodass das Reizartefakt in unserer Messung zeitgleich mit dem Reiz dargestellt wird.

Aufgabe 1.2:

Sie sehen zwei Aufnahmen mit Spannungsreizen von 700 und 800 mV.

- c) Untersuchen Sie für beide Aufnahmen die Latenz (Zeit von Reizung bis Aktionspotenzial; verwenden Sie hierbei für ihre Messung das Maximum des Aktionspotenzials).
- d) Untersuchen Sie für beide Aufnahmen die Amplitude des Aktionspotenzials (Minimum vor AP bis Maximum AP).

Latenz (800 mV): 2,3 ms Amplitude_{Aktionspotenzial} (800 mV): 0,06 mV

Latenz (700 mV): 2,3 ms Amplitude_{Aktionspotenzial} (700 mV): 0,06 mV

- e) Erklären Sie das Alles-oder-Nichts-Gesetz mit Hilfe dieser beiden Aufnahmen.

Das Alles-oder-nichts-Gesetz bezeichnet das Phänomen, dass eine Reaktion auf einen Reiz entweder vollständig oder überhaupt nicht ausgelöst wird. Liegt der Reiz über dem Schwellenwert, wird ein Aktionspotenzial ausgelöst. Da die Kanäle nach einer gewissen Zeit sich automatisch wieder schließen, ist die Natriummenge, die einströmt, definiert. Folglich ist die Amplitude (hier 0,06mV) auch bei unterschiedlicher Reizstärke gleich.

Aufgabe 2.2:

- c) Berechnen Sie die Leitungsgeschwindigkeit für die mittlere Riesenfaser des Regenwurms.

$V(\text{Leitung}) = (s_2 - s_1) / (t_2 - t_1) = \underline{40 \text{ mm} / 1,5 \text{ ms} = 26,67 \text{ m/s}}$

- d) Stellen Sie Vermutungen auf, was die Leitungsgeschwindigkeit von Aktionspotenzialen beeinflussen könnte.

Durchmesser: Je größer der Durchmesser, desto geringer ist der elektrische Widerstand um ein neues Aktionspotenzial zu bilden; d.h. die Zeit, um ein neues Aktionspotenzial an der nächsten Stelle zu bilden, ist geringer und dementsprechend benötigt das elektrische Signal weniger Zeit um ans „andere“ Ende zu gelangen. Die Geschwindigkeit wird größer.

Myelinisierung: Liegt das Axon myelinisiert vor, muss das Aktionspotenzial nur im Bereich der Schnürringe gebildet werden. Es springt also von Schnürring zu Schnürring (saltatorische Erregungsleitung) und ist folglich deutlich schneller als bei der kontinuierlichen Erregungsleitung (Züandschnurprinzip).

Aufgabe 3.2:

- c) Erklären Sie, warum die Nervenzelle direkt nach einem Aktionspotenzial kein weiteres Aktionspotenzial auslösen kann.

Die spannungsabhängigen Natriumkanäle sind direkt nach einem Aktionspotenzial inaktiviert. Der Reiz kann noch so groß sein, die Natriumkanäle bleiben in diesem Zustand geschlossen. Man kann folglich kein zweites Aktionspotenzial auslösen.

- d) Erklären Sie, warum das zweite Aktionspotenzial nach der absoluten Refraktärzeit kleiner ausfällt. (2. Abbildung: Reizintervall 2 ms)

Wenn Natrium in das Axon einströmt, können wir das als eine positivere Spannungsänderung messen. Je mehr Natrium-Ionen in das Axon hineinströmen, desto positiver wird der Spannungsausschlag, die der Amplitude entspricht. Da noch einige Natriumkanäle inaktiviert vorliegen, strömt weniger Natrium in das Axon hinein und die Amplitude fällt kleiner aus, als wenn alle Natriumkanäle geöffnet wären.

Aufgabe 4.1:

Überlegen Sie, wie man nachweisen könnte, dass Nervenfasern durch elektrische Reizung Aktionspotenziale in beide Richtungen leiten können, also auch in die „falsche“ Richtung.

Messelektroden und Reizelektroden (Kathode, Anode) in ihrer Position vertauschen.

Aufgabe 4.2:

- c) Erklären Sie Bidirektionalität.

Leitung in beide Richtungen; entsteht nur bei Reizung von außen.

- d) Untersuchen Sie Aufnahme 1 und 2 hinsichtlich ihrer Latenz und ihrer Amplitude:

Latenz(Aufnahme 1): 2,4 ms Amplitude_{Aktionspotenzial} (Aufnahme 1): ca. 0,2 mV

Latenz(Aufnahme 2): 2,6 ms Amplitude_{Aktionspotenzial} (Aufnahme 2): ca. 0,2 mV

e) Welche Beobachtung können Sie feststellen?

Die Latenz wird bei der „unnatürlichen“ Leitungsrichtung größer, da die Leitungsgeschwindigkeit langsamer ist.
Die Amplitude bleibt gleich (Alles-oder-Nichts-Gesetz).

f) Können Sie diese Beobachtung erklären?

Die Nervenfaser besitzt eine natürliche Leitungsrichtung; sie ist so gebaut, dass sie in ihre natürliche Leitungsrichtung möglichst schnell Aktionspotenziale weiterleiten kann.

Die Amplitude bleibt immer gleich, da die Anzahl der einströmenden Ionen bei der Entstehung eines Aktionspotenzials sich nicht ändert.

g) Bidirektionalität kommt nur bei Reizung von außen vor. Warum wird normalerweise ein Aktionspotenzial nicht „rückwärts“ geleitet, was verhindert eine Leitung in die andere Richtung?

Ein Aktionspotenzial kann normalerweise nicht wieder „rückwärts“ geleitet werden, da die absolute Refraktärzeit dies verhindert.

(Bei mehreren Nervenfasern verhindert auch die Signalübertragung an Synapsen eine „Rückwärtsleitung“)

B-1 Pretest

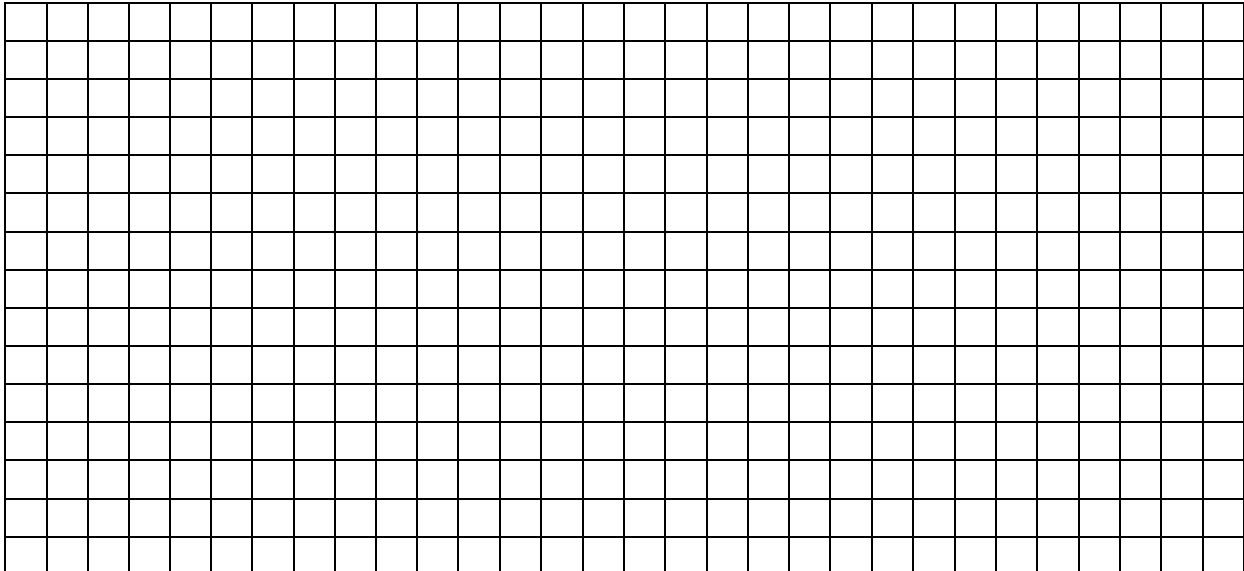
Alter: _____ Geschlecht: _____ Zuordnung: _____

Kursart (Jahrgangsstufe; LK/GK): _____

Pretest:

- 1) Skizzieren Sie an einem Axon die Methode einer intrazellulären Messung.

- 2) a) Zeichnen Sie den Verlauf eines intrazellulär gemessenen Aktionspotenzials in einem Koordinatensystem. b) Beschriften (Messgröße und Einheit) und skalieren Sie die Achsen.



- 3) Erklären Sie die Entstehung eines Aktionspotenzials (Stichwortartig).

- 4) Begründen Sie, warum das Alles-oder-Nichts-Gesetz so heißt, wie es heißt.

- 5) Kennen Sie die Methode der extrazellulären Messung? Ja Nein
Wenn ja, erklären Sie diese.
- 6) a) Erklären Sie, was elektrische Spannung ist. b) Nennen Sie die Einheit, in der die elektrische Spannung gemessen wird.
- 7) Erklären Sie (ev. mit Hilfe einer Skizze) den Begriff Amplitude.
- 8) Kennen Sie den Begriff Reizartefakt? Ja Nein
Wenn ja, erklären Sie diesen.
- 9) Kennen Sie den Begriff Latenz? Ja Nein
Wenn ja, erklären Sie diesen.
- 10) Kennen Sie den Begriff Reizschwelle? Ja Nein
Wenn ja, erklären Sie diesen.
- 11) Kennen Sie unterschiedliche Zustände, die ein spannungsabhängiger Kanal einnehmen kann? Ja Nein
Wenn ja, nennen Sie diese.

B-2 Posttest

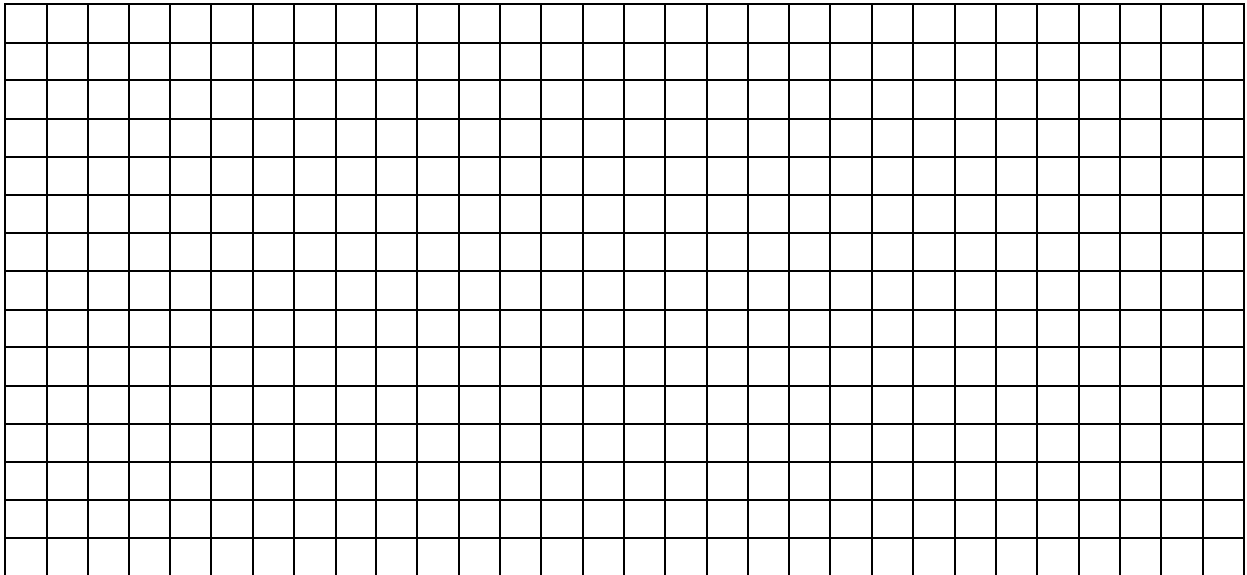
Alter: _____ Geschlecht: _____ Zuordnung: _____

Kursart (Jahrgangsstufe; LK/GK): _____

Posttest:

- 1) Skizzieren Sie an einem Axon die Methode der intrazellulären Messung.

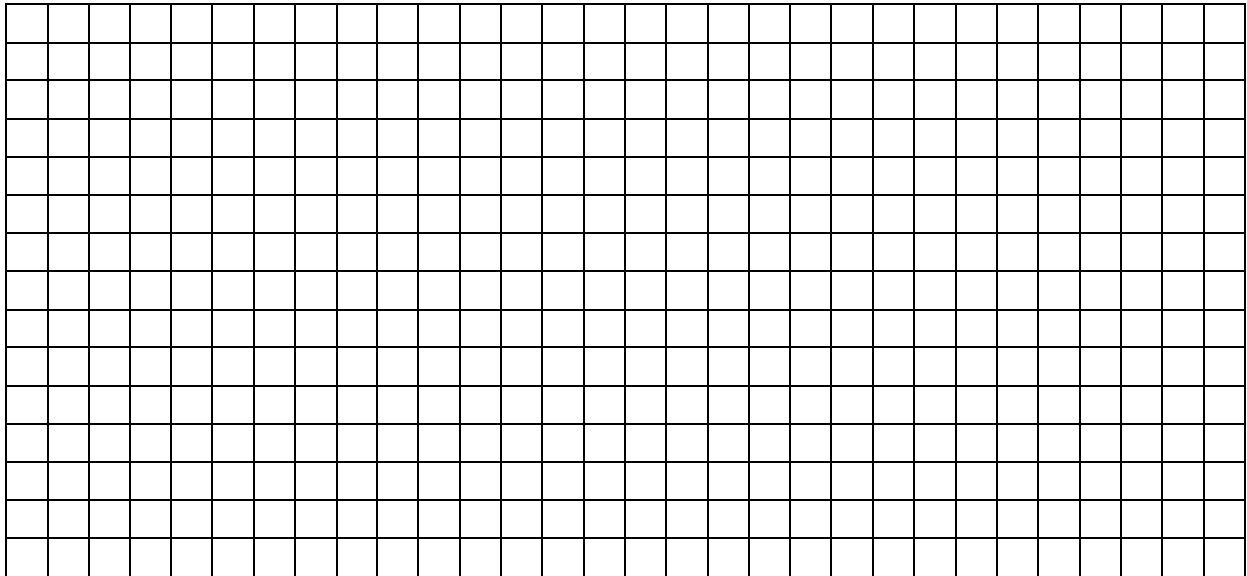
- 2) a) Zeichnen Sie den Verlauf eines intrazellulär gemessenen Aktionspotenzials in einem Koordinatensystem. b) Beschriften (Messgröße und Einheit) und skalieren Sie die Achsen.



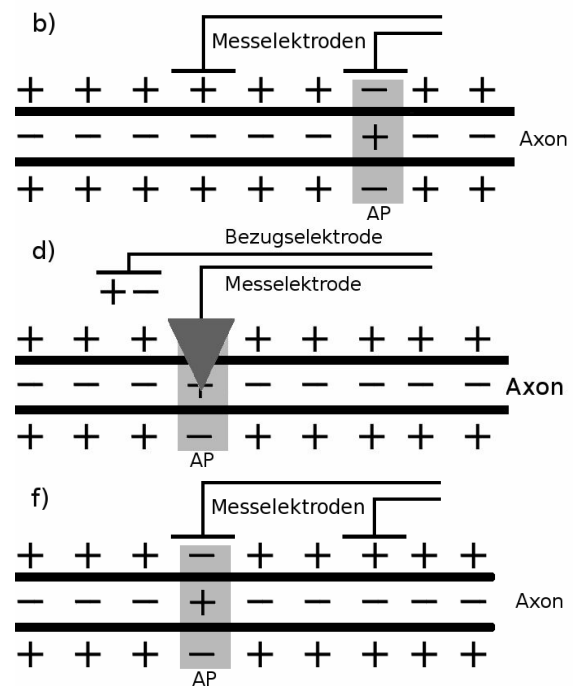
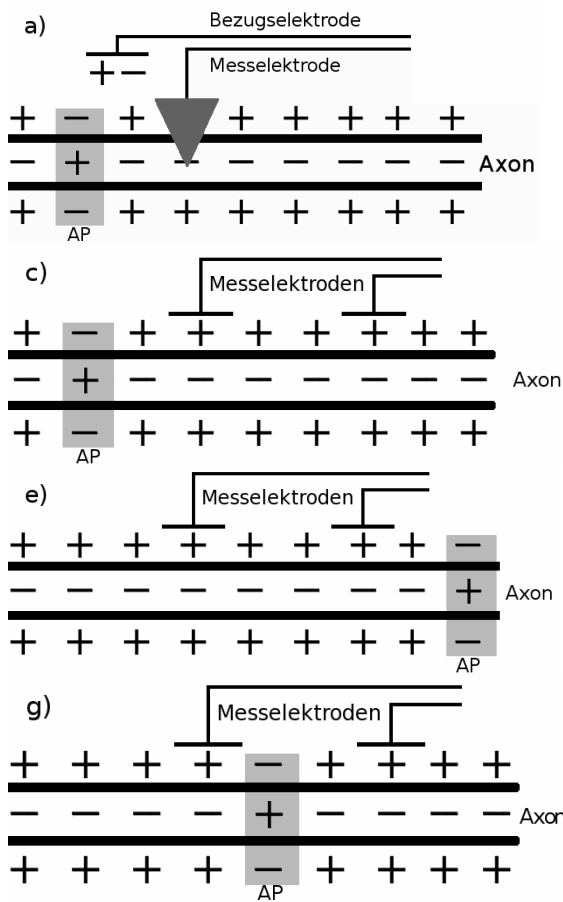
- 3) Erklären Sie die Entstehung eines Aktionspotenzials (Stichwortartig).

- 4) Skizzieren Sie an einem Axon die Methode der extrazellulären Messung.

- 5) a) Zeichnen Sie den Verlauf eines extrazellulär gemessenen Aktionspotenzials in einem Koordinatensystem. b) Beschriften (Messgröße und Einheit) und skalieren Sie die Achsen.



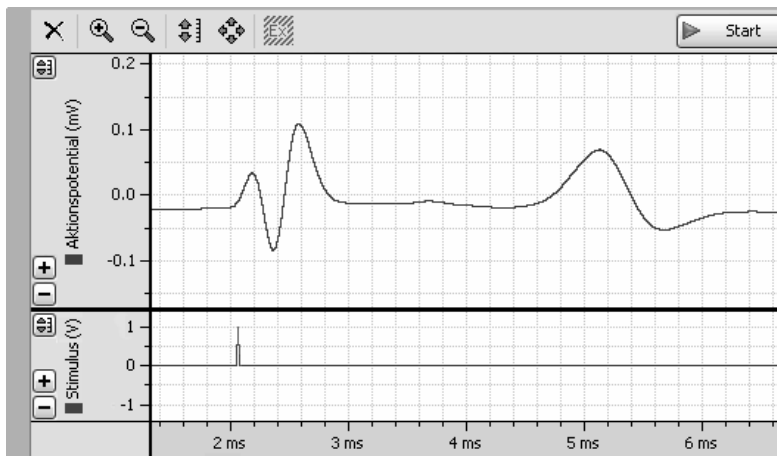
- 6) Ordnen Sie die richtigen Messdarstellungen dem Kurvenverlauf bei 5) zu, indem Sie die Kleinbuchstaben an die richtige Position im Diagramm eintragen.



7) a) Nennen Sie möglichst viele Geräte, die für das Experiment benötigt wurden und b) erklären Sie ihre Funktion.

8) a) Erklären Sie, was elektrische Spannung ist. b) Nennen Sie die Einheit, in der die elektrische Spannung gemessen wird.

9) a) Beschriften Sie in den beiden Diagrammen alle Phasen in der Spannungskurve, die Sie kennen. b) Werten Sie das Aktionspotenzial hinsichtlich Latenz und Amplitude aus.



Latenz \approx
Amplitude \approx

10) Erklären Sie, wie wir im Experiment die Leitungsgeschwindigkeit von Aktionspotenzialen für die mittlere Riesenfaser gemessen haben.

11) Begründen Sie, warum das Alles-oder-Nichts-Gesetz so heißt, wie es heißt.

12) a) Begründen Sie, warum direkt nach einem Aktionspotenzial kein zweites gebildet werden kann. b) Nennen Sie den Fachbegriff für diese zeitliche Periode.

13) Bewerten Sie die Bezeichnung „Alles-oder-Nichts-Gesetz“.

14) Nennen Sie die unterschiedlichen Zustände, die ein spannungsabhängiger Kanal einnehmen kann (oder erstellen Sie eine Skizze).

15) a) Erklären Sie den Begriff ‚Bidirektionalität‘.

b) Begründen Sie, warum Bidirektionalität bei natürlicher Aktionspotenzialbildung nicht auftritt.

B-3 Erwartungshorizont Pretest**Pretest**

Legende: AFB = Anforderungsbereich, AP = Aktionspotenzial,

Nr.	Frage	Lösung mit Punkteverteilung	AFB	Wissensursprung	Begründung
1	Skizzieren Sie an einem Axon die Methode einer intrazellulären Messung.	Axon (1) mit Messelektrode innen (1) und Bezugslektrode außen (1)	I	Vorwissen, Schule	Verständnis für intrazelluläres messen, Curriculum
2	a) Zeichnen Sie den Verlauf eines intrazellulär gemessenes Aktionspotenzial in einem Koordinatensystem.	a) Ruhepotenzial, ca. -70 mV (1), Depolarisation bis + 30 mV (1), Repolarisation mit Hyperpolarisation (bis - 90 mV) (1), Ruhepotenzial erreicht (1)	II	Vorwissen, Schule	Curriculum,
	b) Beschriften (Messgröße und Einheit) und skalieren Sie die Achsen.	b) Spannung U in mV (1); Zeit t in ms (1),	I	Vorwissen, Schule	Methodenkompetenz Messungen
3	Erklären Sie die Entstehung eines Aktionspotenzials.	unerregte Zelle, überschwelliger Reiz (1), spannungsabhängige Natriumkanäle öffnen sich (1), Natriumionen gelangen in das Axon, Axoninnere wird gegenüber Außenmedium positiv geladen, (1) Ladungsumkehr, Overshoot, Kaliumkanäle öffnen sich (1) → Kalium strömt aus Zelle heraus und wird wieder negativer (1), Konzentrationsgefälle, Spannungsgefälle, EMK, Ionenausgleich	II	Vorwissen, Schule	Curriculum,
4	Begründen Sie, warum das Alles-oder-Nichts-Gesetz so heißt, wie es heißt.	Auf einen Reiz folgt entweder eine immer gleiche Reaktion (1): ein AP, dessen Amplitude immer gleich groß (1) ist oder auf den Reiz folgt keine Reaktion; es wird kein AP ausgelöst (1)	III	Vorwissen, Schule	Curriculum
5	Kennen Sie die Methode der extrazellulären	zwei Elektroden messen außen am Axon die Ladungsdifferenz (3)	II	Vorwissen,	notwendiges Wissen um Experiment zu verstehen,

	Messung? Ja Nein Wenn ja, erklären Sie diese.				Abgrenzung von intrazelluläre Messung
6	a) Erklären Sie, was elektrische Spannung ist. b) Nennen Sie die Einheit, in der die elektrische Spannung gemessen wird.	a) Ladungsdifferenz zwischen zwei Bezugspunkten, (2) b) Volt (1)	II I	Vorwissen, Schule	Curriculum, Curriculum,
7	Erklären Sie (ev. mit Hilfe einer Skizze) den Begriff Amplitude.	Differenz Minimum Maximum (3)	II	Vorwissen, Schule	Verständnis von Begriffen, notwendiges Wissen um Experiment auszuwerten, Curriculum,
8	Kennen Sie den Begriff Reizartefakt? Ja Nein Wenn ja, erklären Sie diesen.	durch Reizung künstlich erzeugtes Signal (3)	II	Vorwissen,	notwendiges Wissen um Experiment auszuwerten
9	Kennen Sie den Begriff Latenz? Ja Nein Wenn ja, erklären Sie diesen.	Zeit von Reiz bis AP (3)	II	Vorwissen, (Schule)	notwendiges Wissen um Experiment auszuwerten
10	Kennen Sie den Begriff Reizschwelle? Ja Nein Wenn ja, erklären Sie diesen.	geringste Reizstärke, die eine Reaktion verursacht, AP auslöst (3)	II	Vorwissen, (Schule)	notwendiges Wissen um Experiment auszuwerten
11	Kennen Sie unterschiedliche Zustände, die ein spannungsabhängiger Kanal einnehmen kann? Ja Nein Wenn ja, nennen Sie diese.	1) Aktivierungstor zu, Inaktivierungstor offen, 2) beide offen 3) Aktivierungstor offen, Inaktivierungstor zu, 4) beide geschlossen; (4) Offen/ zu (2)	I	Vorwissen, Schule	Für ein genaues Verständnis der Refraktärzeit notwendig Curriculum

B-4 Erwartungshorizont Posttest**Erwartungshorizont Posttest**

Legende: AFB = Anforderungsbereich, TV = Teilversuch, Nummern in Klammern = Pretestzuordnung

Nr.	Frage	Lösung mit Punkteverteilung	AFB	Wissensursprung	Begründung
1 (1)	Skizzieren Sie an einem Axon die Methode einer intrazellulären Messung.	Axon (1) mit Messelektrode innen (1) und Bezugslektrode außen (1)	I	Vorwissen, Schule	Verständnis für intrazelluläres messen, Curriculum
2 (2)	a) Zeichnen Sie den Verlauf eines intrazellulär gemessenen Aktionspotenzials in einem Koordinatensystem. b) Beschriften (Messgröße und Einheit) und skalieren Sie die Achsen.	a) Ruhepotenzial, ca. -70 mV (1), Depolarisation bis + 30 mV (1), Repolarisation mit Hyperpolarisation (bis – 90 mV) (1), Ruhepotenzial erreicht (1) b) Spannung U in mV (1); Zeit t in ms (1),	II I	Vorwissen, Schule Vorwissen, Schule	Curriculum, Methodenkompetenz Messungen
3 (3)	Erklären Sie die Entstehung eines Aktionspotenzials.	unerregte Zelle, überschwelliger Reiz (1), spannungsabhängige Natriumkanäle öffnen sich (1), Natriumionen gelangen in das Axon, Axoninnere wird gegenüber Außenmedium positiv geladen, (1) Ladungsumkehr, Kaliumkanäle öffnen sich (1) → Kalium strömt aus Zelle heraus und wird wieder negativer (1), Konzentrationsgefälle, EMK,	II	Vorwissen, Schule	Curriculum,
4 (5)	Skizzieren Sie an einem Axon die Methode einer extrazellulären Messung.	Axon (1) mit zwei Elektroden nebeneinander (2)	I	Skript, Experiment Einleitung	notwendiges Wissen um Experiment zu verstehen, Abgrenzung von intrazelluläre Messung
5	a) Zeichnen Sie den Verlauf eines extrazellulär gemessenen Aktionspotenzials in einem	Ruhepotenzial bei 0 mV (1), Ausschlag nach oben/Maximum (1), Ausschlag nach unten, Minimum (1), Ruhepotenzial (1)	II	Skript, Experiment Einleitung, TV 1-4	notwendiges Wissen um Experiment zu verstehen, Abgrenzung von intrazelluläre Messung

	Koordinatensystem. b) Beschriften (Messgröße und Einheit) und skalieren Sie die Achsen.	b) Spannung U in mV (1); Zeit t in ms (1),	I	Schule, Skript, Experiment Einleitung, TV 1-4	Methodenkompetenz Messungen
6	Ordnen Sie die richtigen Messdarstellungen dem Kurvenverlauf bei 2) zu, indem Sie die Kleinbuchstaben an die richtige Position im Diagramm eintragen.	c), f), g), b), e) (2,5) Ruhepotenzial, Maximum, Ruhepotenzial, Minimum, Ruhepotenzial (2,5)	II	Skript,	Verständnis von Messungen, Fachkompetenz und Methodenkompetenz
7	a) Nennen Sie die Geräte, die für das Experiment benötigt wurden und b) erklären Sie ihre Funktion.	Reizgenerator (1), erzeugt (definierte) Reize (1), Verstärker mit Filter (1), verstärkt Signale und filtert andere Signale heraus (1), PC mit Darstellungsprogramm (1), Signale können gut grafisch dargestellt werden (1)	I II	Experiment Einleitung, (TV 1-4) Experiment Einleitung	Fachkompetenz, Verständnis Experiment
8 (6)	a) Erklären Sie, was elektrische Spannung ist. b) Nennen Sie die Einheit, in der die elektrische Spannung gemessen wird.	a) Ladungsdifferenz zwischen zwei Bezugspunkten, (2) b) Volt (1)	II I	Experiment Einleitung, Skript Experiment, Einleitung, TV 1-4, Skript	Curriculum, Curriculum,
9 (7,8, 9)	a) Beschriften Sie in den beiden Diagrammen alle Phasen in der Spannungskurve, die Sie kennen. b) Werten Sie das Aktionspotenzial hinsichtlich Latenz und Amplitude aus.	Reizartefakt, Aktionspotenzial, ev. Depolarisation, Repolarisation, Ruhepotenzial (5) Latenz = 2-3ms, Amplitude = 0,08 mV (4)	I II	Experiment, Skript, Schule, Vorwissen Experiment TV 1-4	Fachkompetenz, Verständnis Experiment
10	Erklären Sie, wie wir im	$v = s/t$; Latenz gemessen entspricht t, Strecke	II	Versuch TV 2	Fachkompetenz, Verständnis

	Experiment die Leitungsgeschwindigkeit von Aktionspotenzialen für die mittlere Riesenfaser gemessen haben.	ist der Abstand von Kathode bis erster Aufnahmeelektrode; Geschwindigkeit wird ausgerechnet (3), Verwendung der Differenzmethode, um Ungenauigkeit im Bereich der AP-Bildung wegzukürzen → genauerer Geschwindigkeitsberechnung möglich (1)			Experiment
11 (4)	Begründen Sie, warum das Alles-oder-Nichts-Gesetz so heißt, wie es heißt.	Auf einen Reiz folgt entweder eine immer gleiche Reaktion (1): ein AP, dessen Amplitude immer gleich groß (1) ist oder auf den Reiz folgt keine Reaktion; es wird kein AP ausgelöst (1)	III	Schule, Vorwissen, eigene kognitive Leistung, Versuch TV 1	Curriculum
12	a) Begründen Sie, warum direkt nach einem Aktionspotenzial kein zweites gebildet werden kann. b) Nennen Sie den Fachbegriff für diese zeitliche Periode.	Natriumkanäle sind inaktiviert, es kann kein AP in dieser Zeit ausgelöst werden (2) Absolute Refraktärzeit (1) Membrandurchlässigkeit tendiert gegen null	III I	Versuch TV 3, Skript	Curriculum, Verständnis Versuch
13	Bewerten Sie die Bezeichnung „Alles-oder-Nichts-Gesetz“.	Reaktion nicht immer gleich groß, da während der relativen Refraktärzeit Amplitude kleiner ausfällt (3) Beschreibt den Normalfall (2)	III	eigene kognitive Leistung, Versuch TV 3	Curriculum,
14 (11)	Kanalzustände	1) Aktivierungstor zu, Inaktivierungstor offen, 2) beide offen 3) Aktivierungstor offen, Inaktivierungstor zu, 4) beide geschlossen (4) Offen/zu (2)	I	Skript,	Verständnis Versuch, Curriculum,
15	a) Erklären Sie den Begriff	a) Leitung in beide Richtungen (1)	II	Versuch TV 4	Verständnis Experiment,

	‚Bidirektionalität‘. b) Begründen Sie, warum Bidirektionalität bei natürlicher Aktionspotenzialbildung nicht auftritt.	b) Bidirektionalität wird durch die Refraktärzeit verhindert, an mehreren Nervenfasern auch durch die Umwandlung des elektrischen Signals in ein chemisches Signal an den Synapsen (2)	III		
--	---	--	-----	--	--

B-5 Motivationsfragebogen

Zuordnung: _____

	Frage	Trifft gar nicht zu	Trifft ein wenig zu	Trifft zu	Trifft genau zu
1	Mir hat die Unterrichtseinheit sehr viel Spaß gemacht.				
2	Das Thema dieser Unterrichtseinheit war langweilig.				
3	Ich habe mich bei dieser Unterrichtseinheit angestrengt, weil es mir wichtig ist, dass ich Fragen zu diesem Thema beantworten kann				
4	Ich bin neugierig gewesen, was als nächstes kommen würde.				
5	Ich habe über das Thema der Unterrichtseinheit nach der Schule nachgedacht.				
6	Ich hatte keine Lust auf diese Unterrichtseinheit.				
7	Ich habe mich bei dieser Unterrichtseinheit angestrengt, damit sich meine Eltern über mich freuen.				
8	Am liebsten hätte ich nicht an dieser Unterrichtseinheit teilgenommen.				
9	Ich habe mich bei dieser Unterrichtseinheit angestrengt, um bei anderen in der Klasse einen guten Eindruck zu hinterlassen.				
10	Ich habe mich bei dieser Unterrichtseinheit angestrengt, weil es mir Spaß gemacht hat.				
11	Ich habe mich bei dieser Unterrichtseinheit angestrengt, weil ich viel zu diesem neurobiologischen Thema wissen wollte.				
12	Ich habe mich bei dieser Unterrichtseinheit angestrengt, um bei meinem/r Lehrer/in einen guten Eindruck zu hinterlassen.				
13	Ich habe mich bei dieser Unterrichtseinheit angestrengt, um mehr über Neurobiologie zu erfahren.				
14	Das Thema dieser Unterrichtseinheit interessierte mich nicht.				
15	Ich habe mich bei dieser Unterrichtseinheit angestrengt, weil ich gerne Themen verstehe.				
16	Ich habe anderen von dieser Unterrichtseinheit erzählt.				
17	Ich habe mich bei dieser Unterrichtseinheit angestrengt, um eine gute Note zu kriegen.				
18	Ich fand das Thema dieser Unterrichtseinheit spannend.				
19	Ich habe bei dieser Unterrichtseinheit gut mitgemacht, um zu erfahren, ob das, was ich mir gedacht habe, richtig war.				

B-6 Übersicht der Motivationsitems**Interesse**

Frage	Trifft gar nicht zu	Trifft ein wenig zu	Trifft zu	Trifft genau zu
Mir hat die Unterrichtseinheit sehr viel Spaß gemacht.				
Ich fand das Thema dieser Unterrichtseinheit spannend.				
Ich habe anderen von dieser Unterrichtseinheit erzählt.				
Ich bin neugierig gewesen, was als nächstes kommen würde.				
Ich habe über das Thema der Unterrichtseinheit nach der Schule nachgedacht.				

Nichtinteresse

Ich hatte keine Lust auf diese Unterrichtseinheit.				
Das Thema dieser Unterrichtseinheit war langweilig.				
Am liebsten hätte ich nicht an dieser Unterrichtseinheit teilgenommen.				
Das Thema dieser Unterrichtseinheit interessierte mich nicht.				

Selbstbestimmte Motivation

Ich habe mich bei dieser Unterrichtseinheit angestrengt, weil es mir wichtig ist, dass ich Fragen zu diesem Thema beantworten kann.				
Ich habe mich bei dieser Unterrichtseinheit angestrengt, weil ich viel zu diesem neurobiologischen Thema wissen wollte.				
Ich habe bei dieser Unterrichtseinheit gut mitgemacht, um zu erfahren, ob das, was ich mir gedacht habe, richtig war.				
Ich habe mich bei dieser Unterrichtseinheit angestrengt, um mehr über Neurobiologie zu erfahren.				
Ich habe mich bei dieser Unterrichtseinheit angestrengt, weil es mir Spaß gemacht hat.				
Ich habe mich bei dieser Unterrichtseinheit angestrengt, weil ich gerne Themen verstehe.				

Fremdbestimmte Motivation

Ich habe mich bei dieser Unterrichtseinheit angestrengt, um bei anderen in der Klasse einen guten Eindruck zu hinterlassen.				
Ich habe mich bei dieser Unterrichtseinheit angestrengt, um eine gute Note zu kriegen.				
Ich habe mich bei dieser Unterrichtseinheit angestrengt, damit sich meine Eltern über mich freuen.				
Ich habe mich bei dieser Unterrichtseinheit angestrengt, um bei meinem/r Lehrer/in einen guten Eindruck zu hinterlassen.				

C Rohdaten der Fragebögen

Legende Rohdaten

Nr: Zurodnungsnummer, erste Zahl entspricht Versuchsgruppe

VG: Versuchsgruppe (1 = Realexperiment, 2 = Virtuelles Experiment, 3 = Kontrollgruppe)

Sex: Geschlecht (1 = weiblich, 2 = männlich)

Kurs: 1 = Leistungskurs, 2 = Grundkurs

Pre1-11: Bewertung des Pretestes entsprechend des Erwartungshorizontes

Post1-15: Bewertung des Posttestes entsprechend des Erwartungshorizontes

M1-19: Auswertung des Motivationsfragebogens (1 = trifft gar nicht zu, 2 = trifft eher nicht zu, 3 = trifft zu, 4 = trifft genau zu)

PreM: Measure-Wert des Pretest

PostM: Measure-Wert des Posttest

Lernzuwachs: Differenz Measure-Wert Posttest – Measure-Wert Pretest

C-1 Rohdaten Pretest

Nr	VG	Sex	Alter	Kurs	Pre1	Pre2	Pre3	Pre4	Pre5	Pre6	Pre7	Pre8	Pre9	Pre10	Pre11
101	1	2	17	1	1	6	4	3	0	3	2	0	0	0	2
102	1	1	16	1	3	4	3	0	3	1	0	0	0	0	2
13	1	1	17	1	0	6	2	0	0	1	0	0	0	0	0
14	1	1	17	1	0	6	3	3	0	2	0	0	0	0	2
15	1	2	17	1	0	6	5	3	0	3	3	0	0	0	2
106	1	1	17	1	0	4	3	2	0	0	3	0	0	0	2
107	1	1	17	1	3	5	5	3	0	3	3	0	0	0	0
108	1	1	16	1	2	6	5	3	0	3	0	0	0	0	2
109	1	2	17	1	0	5	4	0	0	3	0	0	0	0	2
110	1	1	17	1	0	5	4	3	0	1	0	0	0	0	2
111	1	1	17	1	0	6	5	3	0	0	0	0	0	0	2
112	1	1	17	1	0	5	3	3	0	3	0	0	0	0	2
113	1	1	17	1	2	5	5	3	0	3	3	0	0	0	2
114	1	2	17	1	2	6	4	3	0	3	3	0	0	0	0
115	1	1	17	1	0	6	5	3	0	1	0	0	0	0	2
116	1	1	17	1	2	6	5	3	0	3	3	0	0	0	2
117	1	1	17	1	0	5	5	3	0	3	0	0	0	0	0
118	1	1	17	1	2	3	5	3	0	3	0	0	0	0	0
119	1	1	17	1	1	5	4	3	0	1	0	0	0	0	2
120	1	1	18	2	0	5	1	2	3	2	2	0	3	0	3
121	1	1	18	2	1	6	5	3	2	3	0	0	2	0	3
122	1	2	17	2	2	2	3	2	1	1	2	0	0	0	0
123	1	1	16	2	0	1	2	3	0	1	0	0	0	0	0
124	1	1	18	2	3	6	3	2	2	3	2	0	0	0	2
125	1	1	17	2	0	3	3	0	2	3	1	0	0	0	2
126	1	2	17	2	2	3	3	3	0	1	0	0	0	0	0
127	1	2	16	2	0	1	0	2	0	1	0	0	0	0	0
128	1	1	17	2	0	0	2	3	0	1	0	0	0	0	0
129	1	1	17	2	0	5	3	0	0	3	0	0	0	0	2
130	1	2	17	2	0	3	3	1	0	3	0	0	0	0	2
131	1	1	18	2	0	6	3	1	2	2	1	0	2	0	2
132	1	2	17	2	0	6	3	3	2	3	0	0	0	0	0
133	1	2	17	2	3	3	0	1	0	1	2	0	0	0	0
134	1	2	18	2	0	3	3	3	0	3	0	0	0	0	0

135	1	2	19	2	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
136	1	2	18	2	0	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0
137	1	1	17	2	0	3	0	2	0	2	2	0	0	0	0
138	1	1	18	2	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
139	1	2	17	2	3	2	1	0	0	0	2	0	0	0	0
140	1	2	17	2	3	2	2	0	0	1	3	0	0	0	0
141	1	2	18	2	0	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0
142	1	2	17	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
143	1	1	17	2	0	0	4	0	0	1	3	0	0	0	2
144	1	1	18	2	3	3	1	0	1	3	0	0	0	0	0
145	1	1	17	2	0	5	3	2	0	3	0	0	0	0	0
146	1	1	17	2	0	0	2	0	0	1	2	0	0	0	0
147	1	2	16	2	3	3	3	1	2	1	0	0	0	0	0
148	1	1	17	2	0	4	3	0	0	1	0	0	0	0	0
149	1	1	17	2	0	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0
150	1	2	17	2	3	5	4	3	0	1	0	0	0	0	2
201	2	1	17	1	3	6	4	2	0	3	0	0	0	0	0
202	2	2	17	1	3	4	1	1	0	3	0	0	0	0	2
23	2	2	16	1	1	5	3	2	1	1	0	0	0	0	0
24	2	2	17	1	3	6	4	0	0	3	2	0	2	0	0
25	2	1	17	1	3	5	5	3	0	1	0	0	0	0	3
206	2	1	17	1	3	5	5	3	0	0	0	0	0	0	2
207	2	1	18	1	0	4	2	3	0	3	0	0	0	0	0
208	2	1	18	1	3	5	4	3	0	1	0	0	0	2	0
209	2	1	16	1	0	6	2	2	0	1	0	0	0	0	0
210	2	2	17	1	0	4	2	2	0	0	0	0	0	2	0
211	2	2	17	1	3	6	5	3	0	3	2	0	0	0	2
212	2	1	17	1	0	5	3	3	0	0	0	0	0	2	0
213	2	2	17	1	3	3	1	3	0	1	1	0	0	2	0
214	2	2	17	1	3	5	4	3	0	1	0	0	0	0	2
215	2	1	17	1	3	4	2	3	0	0	0	0	0	0	0
216	2	1	18	1	0	3	2	3	0	0	0	0	0	0	0
217	2	1	16	1	3	5	2	2	0	0	0	0	0	0	0
218	2	1	16	1	0	6	2	3	0	3	0	0	0	0	0
219	2	1	18	1	0	4	1	3	0	1	0	0	0	0	0
220	2	1	17	2	3	5	5	3	0	0	0	0	0	0	2
221	2	1	17	2	3	6	5	3	0	0	0	0	0	0	0
222	2	2	18	2	3	4	2	3	0	0	0	0	0	0	0
223	2	1	17	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2
224	2	2	17	2	3	6	5	3	0	0	0	0	0	0	0
225	2	2	18	2	2	5	4	0	0	0	0	0	0	0	2
226	2	1	18	2	3	3	5	2	0	0	0	0	0	0	0
227	2	2	17	2	2	5	4	3	0	0	0	0	0	0	0
228	2	2	17	2	0	2	3	3	0	4	3	0	2	2	2
229	2	1	17	2	3	1	1	0	0	2	0	0	0	0	0
230	2	1	17	2	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	2
231	2	2	16	2	2	5	5	3	0	2	0	0	0	0	0
232	2	2	18	2	3	3	3	3	0	1	0	0	0	0	2
233	2	2	17	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
234	2	1	17	2	1	0	0	1	0	3	0	0	0	0	0
235	2	1	17	2	3	6	5	3	0	3	1	0	0	0	0
236	2	1	17	2	1	3	2	2	0	1	0	0	3	0	2
237	2	1	17	2	3	6	5	3	1	3	0	0	0	1	2

238	2	1	18	2	2	3	1	0	0	0	0	0	0	0	2
239	2	1	18	2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
240	2	2	17	2	1	2	1	3	0	0	0	0	0	0	0
241	2	1	17	2	1	2	1	2	0	0	0	0	0	0	2
242	2	2	18	2	3	5	4	2	0	0	0	0	0	0	3
243	2	2	18	2	3	5	4	3	0	2	0	0	1	1	0
244	2	1	17	2	0	6	5	2	0	3	0	0	0	2	3
245	2	1	17	2	1	3	4	3	0	2	3	0	0	0	2
246	2	1	17	2	0	5	4	3	0	2	0	0	0	0	2
247	2	1	17	2	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
248	2	2	17	2	2	5	4	2	0	3	0	0	0	0	2
249	2	1	18	2	0	4	4	3	0	1	0	0	0	0	2
250	2	1	18	2	3	5	3	2	0	1	1	0	0	0	3
251	2	1	18	2	1	3	1	2	0	2	0	0	0	2	0
252	2	2	18	2	2	2	0	2	0	3	0	0	0	0	0
253	2	2	17	2	2	5	3	3	0	2	2	0	0	0	0
254	2	2	19	2	1	2	2	3	0	0	0	0	0	0	0
301	3	2	17	1	3	4	4	3	2	3	0	0	0	2	2
302	3	2	16	1	2	2	2	2	0	1	1	0	0	2	2
33	3	1	17	1	2	2	2	1	0	1	0	0	0	0	2
34	3	1	17	1	3	3	1	2	3	0	0	0	0	0	0
35	3	1	17	1	3	3	5	2	2	1	0	0	0	2	2
306	3	1	18	1	2	3	4	3	0	0	0	0	0	2	4
307	3	1	16	1	2	5	5	3	0	0	1	0	0	0	2
308	3	2	17	1	1	3	4	2	0	1	2	0	0	2	3
309	3	2	18	1	3	4	5	2	0	1	0	0	0	2	2
310	3	2	17	1	2	3	2	1	0	2	0	0	0	0	2
311	3	1	17	1	3	5	4	3	0	2	0	0	1	1	0
312	3	1	17	1	3	6	5	2	0	3	0	0	0	2	3
313	3	1	17	1	2	3	2	3	0	2	3	0	0	0	2
314	3	1	16	1	2	5	4	3	0	2	0	0	0	0	2
315	3	1	17	1	1	1	0	3	0	1	0	0	0	0	0
316	3	2	17	1	2	5	4	2	0	3	0	0	0	0	2
317	3	1	17	1	2	4	4	3	0	1	0	0	0	0	2
318	3	1	17	1	3	5	5	2	0	1	1	0	0	0	3
319	3	2	17	1	1	3	1	2	0	2	0	0	0	2	0
320	3	1	17	1	2	2	0	2	0	3	0	0	0	0	0
321	3	1	17	2	2	5	4	3	0	2	2	0	0	0	0
322	3	1	16	2	1	2	2	3	0	1	0	0	0	0	0
323	3	1	16	2	2	6	5	3	0	3	2	0	0	0	2
324	3	1	17	2	3	4	3	0	3	1	0	0	0	0	2
325	3	2	16	2	0	6	4	0	0	3	0	0	0	0	0
326	3	2	16	2	2	4	4	2	0	3	0	0	0	2	0
327	3	1	17	2	2	3	4	2	3	1	0	0	0	0	2
328	3	1	17	2	2	2	0	1	2	1	0	0	0	0	0
329	3	1	17	2	2	2	3	3	0	0	0	0	0	2	0
330	3	2	17	2	2	5	0	2	0	0	1	0	0	2	0
331	3	2	17	2	0	5	3	0	0	0	0	0	0	0	2
332	3	2	17	2	0	5	1	3	0	0	0	0	0	2	2
333	3	2	17	2	0	6	0	3	0	1	2	0	0	2	2
334	3	1	17	2	2	5	3	1	0	1	0	0	0	0	0
335	3	1	17	2	0	3	3	2	0	2	1	0	0	1	0
336	3	1	17	2	0	3	4	1	0	2	0	0	0	2	0

337	3	2	18	2	0	1	3	3	0	3	0	0	0	0	2
338	3	1	17	2	0	5	2	2	0	2	0	0	0	0	0
339	3	2	17	2	2	6	4	2	0	2	0	0	0	0	0
340	3	1	17	2	1	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0
341	3	1	17	2	1	4	0	2	0	2	1	0	0	0	0
342	3	2	17	2	3	1	4	2	0	2	0	0	0	0	2
343	3	2	17	2	2	4	2	1	0	1	0	0	0	0	2
344	3	1	17	2	1	4	5	3	0	1	2	0	0	0	2
345	3	1	18	2	1	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0
346	3	2	16	2	1	3	0	3	0	1	0	0	1	0	0
347	3	2	16	2	1	2	3	2	2	0	0	0	0	0	0
348	3	2	17	2	1	4	5	1	0	0	0	0	0	0	2
349	3	2	17	2	3	3	3	0	0	3	1	0	0	0	0
350	3	2	17	2	1	2	3	3	0	1	0	0	0	0	0

C-2 Rohdaten Posttest

Nr	Post1	Post2	Post3	Post4	Post5	Post6	Post7	Post8	Post9	Post10	Post11	Post12	Post13	Post14	Post15
11	3	6	5	3	5	5	3	4	2	2	3	3	1	2	0
12	3	6	5	3	6	5	4	4	5	2	3	3	2	4	3
13	3	4	5	3	2	0	2	2	0	0	3	1	0	2	0
14	0	6	5	3	2	0	3	4	2	0	3	3	2	2	0
15	3	6	5	3	6	3	4	1	4	3	3	3	1	2	2
16	3	4	5	3	5	4	2	1	3	1	2	2	0	2	0
107	3	6	5	3	6	5	4	3	1	3	3	3	1	4	3
18	3	6	5	3	6	4	5	3	7	2	3	3	2	2	3
109	3	6	2	3	1	0	6	1	8	0	3	2	1	4	0
110	2	6	5	1	5	4	4	1	4	0	3	3	1	2	0
111	0	6	5	3	6	2	3	3	2	0	3	3	0	0	0
112	3	6	5	3	5	5	6	3	8	1	3	3	1	3	3
113	3	6	5	3	6	5	4	3	2	3	2	3	1	2	3
114	3	4	5	3	0	0	2	1	4	2	2	2	2	0	1
115	3	6	5	3	5	5	6	4	6	2	3	3	1	3	3
116	3	6	5	3	6	5	2	3	4	0	3	3	2	3	0
117	3	5	3	3	4	3	6	4	6	2	2	2	0	3	3
118	1	4	5	3	0	0	3	1	0	0	3	3	1	0	0
119	1	6	5	2	1	0	2	2	0	1	3	3	1	3	0
120	3	6	5	3	6	5	4	3	5	2	3	3	2	4	1
121	3	6	5	3	4	0	2	1	0	0	3	3	0	3	1
122	3	5	3	3	4	5	6	1	6	3	2	2	3	4	1
123	3	2	3	3	4	0	3	1	6	1	3	3	3	4	1
124	3	5	3	3	5	5	4	4	6	3	3	3	2	4	2
125	1	3	3	0	4	0	2	4	2	1	2	2	3	2	1
126	3	5	2	3	5	4	2	1	2	3	2	0	1	2	1
127	2	4	2	3	5	0	4	3	5	3	2	2	1	2	1
128	2	1	1	3	3	0	4	2	6	3	3	2	1	2	2
129	1	5	1	0	4	0	2	4	3	1	2	1	3	2	2
130	3	3	2	3	2	1	2	4	3	0	0	1	0	0	0
131	0	6	3	0	3	0	1	4	2	1	3	2	0	2	1
132	3	6	2	3	6	5	2	4	7	1	3	0	1	0	2

133	3	3	1	3	4	4	5	1	6	2	2	2	0	4	2
134	3	5	4	3	6	5	1	4	4	3	3	2	2	2	2
135	2	5	2	3	5	5	3	4	6	1	3	2	1	0	0
136	1	5	3	3	5	5	4	0	6	1	1	0	1	0	0
137	3	6	3	3	4	5	4	4	5	2	2	3	2	5	2
138	1	4	1	3	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0
139	3	6	5	3	6	5	4	3	6	3	4	3	1	2	3
140	3	5	5	3	4	4	4	1	6	0	1	2	0	2	1
141	3	5	3	3	0	0	0	3	3	3	3	2	3	2	1
142	3	3	3	3	4	3	2	0	0	0	0	2	2	0	3
143	3	4	3	3	3	5	4	1	0	0	0	2	0	0	1
144	3	6	5	3	6	5	6	0	4	0	5	3	0	0	3
145	3	3	3	3	6	3	2	2	0	0	3	3	1	4	1
146	3	3	3	3	0	3	3	3	4	0	3	2	1	2	3
147	3	2	3	3	5	5	4	1	4	3	3	3	1	2	3
148	3	4	4	3	0	0	0	1	0	3	2	0	1	2	1
149	0	4	4	0	0	0	2	3	3	0	2	0	0	0	0
150	3	4	4	3	4	5	4	1	4	3	3	3	1	2	3
21	3	6	4	2	4	0	4	0	0	3	3	3	1	2	2
22	1	4	2	3	3	3	6	1	3	0	2	0	1	3	1
23	2	5	0	3	0	0	3	3	2	2	1	1	1	2	3
24	3	4	3	3	4	0	6	1	1	0	1	2	3	3	3
25	3	5	5	3	4	0	4	1	5	4	2	3	2	2	3
26	3	6	4	3	3	0	0	0	1	4	2	2	0	0	3
207	1	5	3	3	5	5	2	0	8	4	3	2	1	0	1
28	2	5	3	3	5	4	2	1	7	3	3	3	0	0	1
209	3	4	3	3	0	0	3	3	7	3	3	3	3	2	1
210	3	4	2	3	5	5	4	3	7	2	2	2	1	2	3
211	3	4	1	3	4	5	6	3	8	4	3	3	1	3	3
212	3	6	4	3	6	5	5	3	9	2	3	3	1	0	2
213	3	4	0	3	5	5	4	1	2	2	0	2	1	0	3
214	3	4	3	3	3	0	2	0	6	2	3	3	0	3	1
215	3	5	2	3	5	0	6	3	5	0	3	3	0	0	1
216	3	6	3	3	6	5	2	3	9	4	3	3	0	3	3
217	3	6	4	3	4	4	4	3	0	0	3	1	0	0	1

218	3	4	1	3	5	5	1	1	8	3	3	2	0	0	2
219	3	5	4	3	6	4	4	3	0	0	3	1	0	0	1
220	3	5	2	3	4	5	6	2	6	0	2	3	3	2	3
221	3	6	4	3	2	2	4	1	7	3	0	2	2	2	1
222	3	5	1	3	0	0	4	3	8	3	0	1	2	2	1
223	3	0	0	3	1	0	4	2	7	2	0	1	0	0	2
224	3	6	5	3	5	5	2	1	4	3	0	1	0	3	1
225	3	5	4	3	2	0	6	1	2	2	0	1	0	0	1
226	3	4	1	3	5	1	3	1	0	2	2	1	1	2	1
227	3	4	1	3	5	5	4	1	8	2	1	2	1	3	2
228	3	4	3	3	4	0	8	3	8	2	3	1	0	2	1
229	3	4	4	3	0	0	2	3	0	0	0	2	0	1	1
230	3	3	3	3	1	0	6	1	1	0	3	0	0	2	1
231	3	5	5	3	5	5	2	1	4	2	1	1	1	2	1
232	3	5	5	3	5	0	6	3	5	2	0	3	2	2	3
233	3	4	0	3	0	0	2	3	0	0	2	3	0	2	3
234	0	3	1	3	1	0	4	3	6	2	0	1	0	0	1
235	3	5	2	3	5	5	6	3	8	4	2	3	3	2	2
236	0	5	3	3	6	1	0	3	5	3	3	3	0	2	2
237	3	6	5	3	5	5	3	1	7	3	2	2	2	2	2
238	3	4	1	3	5	1	3	1	0	2	2	1	1	2	1
239	3	4	0	0	4	3	0	1	1	0	2	0	0	0	0
240	3	4	4	3	3	3	4	1	0	2	2	1	0	2	1
241	3	1	1	3	0	0	6	1	4	2	2	1	0	2	2
242	3	5	3	3	5	4	4	3	6	3	3	3	3	3	1
243	2	5	4	2	6	5	5	3	0	0	3	3	1	2	3
244	1	6	5	2	0	0	0	2	3	0	3	3	1	2	2
245	2	4	4	2	2	4	1	2	0	0	3	3	3	3	3
246	3	5	5	3	2	3	2	3	1	0	3	3	2	3	0
247	1	3	1	1	0	0	0	0	0	0	2	3	0	2	2
248	3	6	5	3	6	4	4	2	1	2	3	3	1	3	2
249	3	4	1	0	0	0	0	1	1	0	3	3	0	3	3
250	3	5	3	0	0	0	0	1	2	0	3	3	1	3	2
251	3	4	2	2	4	3	2	1	1	0	3	3	3	3	2
252	3	5	0	3	0	0	2	3	0	3	3	2	1	2	1

253	3	5	2	0	1	0	1	1	1	0	2	3	1	2	3
254	3	5	0	2	0	0	4	2	0	2	2	2	1	2	1
31	3	5	1	0	5	3	3	2	2	0	1	2	0	3	0
32	3	5	3	3	5	4	5	2	1	2	2	1	0	3	1
33	3	2	2	3	0	0	0	1	0	0	2	0	3	0	0
34	3	3	4	3	0	0	1	1	4	0	2	2	0	2	0
35	3	3	5	3	3	2	3	1	2	0	2	2	0	3	0
36	3	3	4	2	0	0	0	2	3	0	2	0	0	2	0
307	3	4	4	3	3	0	4	1	4	0	2	2	0	2	1
38	3	0	4	0	0	2	2	2	0	4	2	0	0	3	0
309	3	6	3	3	6	5	6	1	2	0	2	0	0	2	0
310	3	3	3	3	4	0	6	3	4	3	2	1	0	3	0
311	3	6	3	3	5	3	3	2	2	0	1	2	0	3	0
312	3	5	3	3	5	0	5	2	1	2	2	1	0	3	1
313	3	2	2	3	0	0	0	1	0	0	2	0	3	0	0
314	3	3	4	3	0	0	1	1	4	0	2	2	0	2	0
315	3	4	5	3	3	2	3	1	3	0	2	2	0	3	0
316	3	3	0	2	0	0	0	2	3	0	2	0	0	2	0
317	3	4	4	3	3	0	4	1	4	0	2	2	0	2	1
318	3	0	4	0	0	2	2	2	0	4	2	0	0	3	0
319	3	6	3	3	0	5	6	1	2	0	2	0	0	2	0
320	3	3	3	3	4	1	6	3	4	3	2	1	0	3	0
321	3	5	2	3	5	3	3	2	2	0	1	2	0	3	0
322	3	5	3	3	4	0	5	2	1	2	2	1	0	3	1
323	3	2	2	3	0	0	0	1	0	0	2	0	3	0	0
324	3	3	4	0	0	0	1	1	4	0	2	2	0	2	0
325	3	4	4	3	3	2	3	1	3	0	2	2	0	3	0
326	3	3	0	3	6	0	0	2	3	0	2	0	0	2	0
327	3	4	4	3	3	1	4	1	4	0	2	2	0	2	1
328	3	0	4	0	0	2	2	2	0	4	2	0	0	3	0
329	3	6	3	2	5	5	6	1	2	0	2	1	0	2	0
330	3	3	3	3	3	0	6	3	4	3	2	1	0	3	0
331	3	3	2	3	3	3	3	2	2	0	1	2	0	3	0
332	3	5	3	3	5	4	5	2	1	2	2	0	0	3	1
333	3	2	2	3	0	0	0	1	0	0	2	0	3	0	0

334	3	3	4	4	3	0	1	1	4	0	2	2	0	2	0
335	3	4	5	3	3	2	3	1	2	0	2	2	0	3	0
336	3	3	0	2	0	0	0	2	3	0	2	0	0	2	0
337	3	4	4	3	3	1	4	2	4	0	2	2	0	2	1
338	3	0	4	3	0	0	2	2	0	4	2	0	0	3	0
339	3	6	3	3	6	5	6	1	2	0	2	1	0	2	0
340	3	3	3	3	0	0	6	3	4	3	2	1	0	3	0
341	3	3	1	3	5	3	3	2	2	0	1	2	0	3	0
342	3	5	3	3	5	4	5	2	1	2	2	0	0	3	1
343	3	2	2	0	0	0	0	1	0	0	2	0	3	0	0
344	3	3	4	0	0	0	1	1	4	0	2	2	0	2	0
345	3	3	5	3	3	2	3	1	2	0	2	2	0	3	0
346	3	3	0	3	0	0	0	2	3	0	2	0	0	2	0
347	3	4	4	3	3	0	4	1	4	0	2	2	0	2	1
348	3	0	4	3	0	0	2	2	0	4	2	0	0	3	0
349	3	3	3	2	6	5	6	1	2	0	2	1	0	2	0
350	3	3	3	3	4	1	6	3	4	3	2	1	0	3	0

C-3 Measure-Werte

Nr.	PreM	PostM	Lernzuwachs
11	-,30	,21	,51
12	-,72	,93	1,65
13	-1,35	-,57	,78
14	-,72	-,27	,45
15	-,21	,30	,51
16	-,89	-,20	,69
107	-,21	,53	,74
18	-,30	,84	1,14
109	-,89	-,09	,80
110	-,80	-,5	,75
111	-,72	-,24	,48
112	-,72	,93	1,65
113	-,11	,41	,52
114	-,30	-,42	-,12
115	-,64	,93	1,57
116	-,1	,25	,26
117	-,72	,30	1,2
118	-,72	-,69	,3
119	-,72	-,46	,26
120	-,30	,67	,97
121	,09	-,31	-,40
122	-,97	,41	1,38
123	-1,57	-,09	1,48
124	-,11	,67	,78
125	-,89	-,46	,43
126	-1,6	-,24	,82
127	-2,00	-,12	1,88
128	-1,69	-,27	1,42
129	-,97	-,42	,55
130	-1,6	-,69	,37
131	-,47	-,53	-,6
132	-,64	,12	,76
133	-1,25	-,1	1,24
134	-1,6	,30	1,36
135	-2,52	-,1	2,51
136	-1,83	-,27	1,56
137	-1,35	,53	1,88
138	-2,00	-1,33	,67
139	-1,45	,84	2,29
140	-1,15	-,5	1,10
141	-1,83	-,31	1,52
142	-3,07	-,53	2,54
143	-1,25	-,49	,76
144	-1,15	,30	1,45
145	-,97	-,20	,77
146	-1,83	-,24	1,59

147	-,97	,12	1,09
148	-1,45	-,69	,76
149	-2,00	-,97	1,3
150	-,55	,21	,76
21	-,55	-,20	,35
22	-,89	-,35	,54
23	-,97	-,53	,44
24	-,38	-,20	,18
25	-,38	,16	,54
26	-,55	-,42	,13
207	-1,6	,3	1,09
28	-,55	-,1	,54
209	-1,15	-,5	1,10
210	-1,25	,25	1,50
211	-,1	,60	,61
212	-,97	,67	1,64
213	-,89	-,27	,62
214	-,55	-,24	,31
215	-1,6	-,12	,94
216	-1,45	,75	2,20
217	-1,6	-,24	,82
218	-,89	-,5	,84
219	-1,35	-,20	1,15
221	-,55	,35	,90
222	-,64	,10	,74
223	-1,6	-,14	,92
224	-2,22	-,56	1,66
225	-,64	,10	,74
226	-,97	-,36	,61
227	-,97	-,44	,53
228	-,89	,20	1,09
229	-,30	,10	,40
230	-1,57	-,64	,93
231	-1,69	-,60	1,09
232	-,64	,2	,66
233	-,80	,35	1,15
234	-3,07	-,64	2,43
235	-1,83	-,56	1,27
236	-,30	,83	1,13
237	-,89	-,14	,75
238	-,1	,46	,47
239	-1,45	-,44	1,1
240	-2,52	-,97	1,55
241	-1,57	-,33	1,24
242	-1,45	-,52	,93
243	-,64	,46	1,10
244	-,47	,6	,53

245	-,30	-,48	-,18
246	-,55	-,25	,30
247	-,72	-,18	,54
248	-2,00	-1,16	,84
249	-,55	,24	,79
250	-,89	-,82	,07
251	-,55	-,64	-,09
252	-1,15	-,25	,90
253	-1,35	-,56	,79
254	-,64	-,64	,00
255	-1,45	-,60	,85
31	-,11	-,40	-,29
32	-,89	-,6	,83
33	-1,25	-1,09	,16
34	-1,6	-,64	,42
35	-,38	-,36	,2
36	-,55	-,82	-,27
307	-,55	-,33	,22
38	-,55	-,77	-,22
309	-,47	-,10	,37
310	-1,6	-,14	,92
311	-,47	-,18	,29
312	-,1	-,21	-,20
313	-,64	-1,09	-,45
314	-,55	-,64	-,09
315	-1,69	-,29	1,40
316	-,55	-1,3	-,48
317	-,72	-,33	,39
318	-,38	-,77	-,39
319	-1,15	-,33	,82
320	-1,35	-,10	1,25
321	-,64	-,25	,39
322	-1,35	-,25	1,10
323	-,11	-1,09	-,98
324	-,72	-,77	-,5
325	-,97	-,33	,64
326	-,64	-,68	-,4
327	-,64	-,29	,35
328	-1,45	-,77	,68
329	-1,6	-,14	,92
330	-1,6	-,18	,88
331	-1,25	-,40	,85
332	-,97	-,10	,87
333	-,72	-1,09	-,37
334	-1,6	-,48	,58
335	-1,6	-,33	,73
336	-1,6	-1,3	,3
337	-1,6	-,25	,81

338	-1,15	-,73	,42
339	-,72	-,6	,66
340	-1,45	-,29	1,16
341	-1,25	-,36	,89
342	-,89	-,10	,79
343	-1,6	-1,30	-,24
344	-,55	-,77	-,22
345	-1,57	-,36	1,21
346	-1,35	-,97	,38
347	-1,25	-,33	,92
348	-,97	-,73	,24
349	-,97	-,21	,76
350	-1,25	-,10	1,15

C-4 Rohdaten Motivationsfragebogen

Nr	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19
11	3	1	3	2	3	1	1	1	2	3	2	2	2	1	2	2	2	3	2
12	3	1	4	4	2	1	1	1	1	4	3	2	4	1	4	4	2	4	3
13	3	1	2	4	3	1	1	1	1	3	2	2	4	1	2	4	2	4	2
14	4	1	3	3	3	1	2	1	3	3	3	3	3	1	3	3	2	4	2
15	3	1	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	2	3	2
16	3	1	3	3	3	1	2	1	3	3	3	3	3	1	3	3	2	3	3
107	3	2	2	3	3	1	1	1	1	3	2	1	3	1	3	4	1	3	3
18	3	1	4	3	3	1	1	1	1	4	4	3	4	1	4	2	4	4	3
109	2	2	3	3	2	2	1	2	2	2	2	4	3	1	2	4	1	3	2
110	3	1	3	2	2	1	2	1	1	3	3	3	3	1	3	3	3	4	3
111	4	1	4	3	3	1	1	1	1	4	4	1	4	1	1	4	2	4	2
112	4	1	4	3	3	1	1	1	1	4	4	2	4	1	3	4	2	4	3
113	3	1	4	3	2	1	1	1	1	4	3	2	4	1	3	2	3	4	4
114	4	2	3	2	2	1	1	1	2	4	3	2	3	1	3	3	2	4	4
115	3	1	3	3	2	1	1	1	1	3	4	2	4	1	4	2	4	4	3
116	3	1	4	4	4	1	1	1	1	4	4	3	4	1	3	3	3	4	3
117	3	2	3	2	2	1	2	1	1	3	3	3	3	1	3	2	4	3	3
118	3	1	4	3	3	1	1	1	1	2	3	2	3	1	3	3	4	3	1
119	3	1	2	3	2	1	1	1	1	3	3	2	3	1	3	3	1	3	1
120	3	2	3	3	1	2	1	1	1	3	3	3	3	1	3	1	3	3	3
121	3	2	3	1	2	1	1	1	1	2	3	3	3	1	3	2	2	3	4
122	3	1	3	3	2	1	1	1	1	3	3	3	3	1	3	2	3	3	3
123	3	1	4	3	1	1	1	1	1	3	3	2	3	1	3	2	3	3	2
124	3	1	4	2	1	1	1	1	1	3	3	2	3	1	3	2	3	3	2
125	3	2	3	2	2	1	2	2	1	3	2	1	3	2	2	1	3	2	2
126	3	1	2	3	3	1	1	1	1	3	3	2	3	1	3	3	3	3	3
127	3	2	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	3	2	2	3	2	2
128	2	3	2	2	2	3	1	4	1	1	1	2	1	1	2	2	1	1	1
129	3	1	3	3	3	1	1	1	1	3	2	3	3	2	4	3	3	3	3
130	2	2	3	2	2	1	1	1	1	3	2	4	2	2	3	3	3	2	2
131	3	1	4	3	3	3	2	1	3	3	3	4	3	1	3	4	4	4	3
132	4	3	3	2	3	1	1	1	1	3	2	2	3	1	1	3	1	1	4
133	3	2	2	2	2	2	1	1	2	4	3	2	3	2	3	3	2	3	2

134	3	1	3	2	2	1	1	1	1	3	2	2	3	1	3	4	3	3	3
135	4	1	3	3	3	1	2	1	3	3	3	3	3	1	3	1	3	3	3
136	3	1	3	2	3	1	1	1	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2
137	3	1	3	2	2	1	1	1	1	4	3	3	4	1	4	3	3	4	3
138	3	2	3	2	3	2	3	1	2	3	2	3	2	2	1	3	3	4	3
139	3	1	3	3	3	1	1	1	1	3	4	2	3	1	3	3	3	3	4
140	3	1	3	2	2	1	3	1	1	4	4	3	4	1	4	3	3	4	3
141	2	1	2	2	3	1	1	1	1	1	1	2	2	1	3	3	4	2	3
142	3	1	4	3	3	1	1	1	1	3	4	3	4	1	4	4	3	3	4
143	2	2	3	3	4	1	1	2	3	4	3	1	2	1	3	3	3	4	4
144	2	2	3	3	2	2	1	2	1	2	3	1	3	2	2	1	2	2	2
145	4	1	4	4	4	1	1	1	1	4	4	2	4	1	3	3	3	4	4
146	4	1	3	4	4	1	3	1	1	4	4	3	4	1	4	4	4	4	4
147	4	1	4	4	4	1	2	1	3	4	4	3	4	1	4	4	4	4	4
148	4	1	3	3	4	1	4	1	1	4	4	3	4	1	3	4	3	4	4
149	3	2	2	3	2	2	1	1	1	3	2	3	2	1	2	3	2	3	3
150	4	1	3	3	3	1	2	1	2	4	3	2	3	1	3	3	2	4	4

D Ergebnisse

Tabelle 10.3.3.1

Reliabilität des Pre- / Posttests

SUMMARY OF 308 MEASURED PERSON, 303.0 weighted

	TOTAL SCORE	COUNT	MEASURE	MODEL S.E.	INFIT MNSQ	INFIT ZSTD	OUTFIT MNSQ	OUTFIT ZSTD
MEAN	24.2	12.7	-.59	.27	.97	-.1	.99	.1
P.SD	13.7	1.8	.64	.08	.44	1.1	.60	1.0
S.SD	13.7	1.8	.64	.08	.44	1.1	.60	1.0
MAX.	58.0	15.0	.93	.92	2.76	3.5	5.85	3.6
MIN.	1.0	11.0	-3.07	.19	.24	-3.1	.17	-3.1
REAL RMSE	.30	TRUE SD	.56	SEPARATION	1.89	PERSON RELIABILITY	.78	
MODEL RMSE	.28	TRUE SD	.57	SEPARATION	2.05	PERSON RELIABILITY	.81	
S.E. OF PERSON MEAN = .04								

LACKING RESPONSES: 7 PERSON, 7.0 weighted
 PERSON RAW SCORE-TO-MEASURE CORRELATION = .92
 CRONBACH ALPHA (KR-20) PERSON RAW SCORE "TEST" RELIABILITY = .84 SEM = 5.46

SUMMARY OF 18 MEASURED ITEM

	TOTAL SCORE	COUNT	MEASURE	MODEL S.E.	INFIT MNSQ	INFIT ZSTD	OUTFIT MNSQ	OUTFIT ZSTD
MEAN	407.8	205.3	.00	.07	.99	-.1	1.00	.1
P.SD	298.8	71.0	.56	.03	.12	1.4	.17	1.5
S.SD	307.4	73.1	.58	.03	.12	1.5	.18	1.5
MAX.	1230.0	303.0	.82	.17	1.16	2.0	1.28	3.1
MIN.	17.0	149.0	-1.11	.04	.72	-3.1	.70	-2.6
REAL RMSE	.08	TRUE SD	.56	SEPARATION	6.95	ITEM RELIABILITY	.98	
MODEL RMSE	.08	TRUE SD	.56	SEPARATION	7.05	ITEM RELIABILITY	.98	
S.E. OF ITEM MEAN = .14								

LACKING RESPONSES: 1 ITEM
 ITEM RAW SCORE-TO-MEASURE CORRELATION = -.67
 Global statistics: please see Table 44.
 UMEAN=.0000 USCALE=1.0000

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich im Laufe meiner Promotion in vielfältiger Weise unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt Frau Prof. Dr. Kirsten Schlüter für die Betreuung dieser Arbeit, die freundliche Unterstützung sowie die gute Zusammenarbeit.

Bei Herrn PD Dr. Joachim Schmidt möchte ich mich herzlich für die Übernahme des Korreferats, für die langjährige vertrauensvolle Unterstützung sowie für sein hilfreiches Nachfragen samt seinen kritischen Anmerkungen bedanken.

Frau Dr. Carmen Wellmann und Anna Schneider gebührt ebenfalls mein herzlicher Dank. Sie haben sich mit großer Bereitschaft und auf die ihnen eigene, motivierende Art mit meinen Überlegungen und methodischen Fragen auseinandergesetzt und mit Problemlösungen, Zustimmung und kritischen Anmerkungen sehr weitergeholfen.

Ich bedanke mich bei allen Kolleginnen und Kollegen der Abteilungen AG Büschges, AG Wellmann und AG Gruhn (auch den mittlerweile ehemaligen) für ein herzliches Miteinander, die gute Zusammenarbeit und vielfältige Unterstützung. Ein besonderes Dankeschön gilt der Mittagstischrunde für die vielen guten Gespräche und jede Menge Motivation!

Des Weiteren möchte ich mich bei Frau Prof. Ellen Aschermann und Herrn Prof. William Boone für die Unterstützung bei der Auswertung der Daten bedanken.

Zudem möchte ich mich bei den vielen Schülerinnen und Schülern bedanken, die durch die sorgfältige Bearbeitung der Fragebögen wesentlich zum Gelingen der Studie beigetragen haben sowie den beteiligten Lehrkräften.

Persönlicher Dank gilt meiner Familie und meinen Freunden.

Selbstständigkeitserklärung

Ich versichere, dass ich die von mir vorgelegte Dissertation selbständig angefertigt, die benutzten Quellen und Hilfsmittel vollständig angegeben und die Stellen der Arbeit – einschließlich Tabellen, Karten und Abbildungen – , die anderen Werken im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, in jedem Einzelfall als Entlehnung kenntlich gemacht habe; dass diese Dissertation noch keiner anderen Fakultät oder Universität zur Prüfung vorgelegen hat; dass sie – abgesehen von unten angegebenen Teilpublikationen – noch nicht veröffentlicht worden ist sowie, dass ich eine solche Veröffentlichung vor Abschluss des Promotionsverfahrens nicht vornehmen werde. Die Bestimmungen der Promotionsordnung sind mir bekannt. Die von mir vorgelegte Dissertation ist von Prof. Dr. Kirsten Schlüter betreut worden.

Köln, den 15. August

Franziska Bauer