

Das Tablet als Arbeitsgerät für den Lehrenden

Untersuchung der Auswirkungen auf Motivation und Befindlichkeit von
Schüler/innen im Physikunterricht der Sekundarstufe II am Beispiel
einer Unterrichtseinheit über den piezoelektrischen Effekt



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Wissenschaftliche Hausarbeit für das Lehramt an Gymnasien
von Thomas Arnold

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Einordnung der Arbeit in den Kontext von Schule und Forschung.....	3
2.1. Bedeutung von Medienbildung für die Schule	3
2.2. Begründung des Tablet-PCs als Untersuchungsgegenstand.....	5
2.3. Forschungsstand zum Einsatz von Tablet-PCs im Unterricht	8
2.4. Konsequenzen und resultierende Forschungsfragen	11
3. Vorgehensweisen der Untersuchung	13
3.1. Überblick über das Vorgehen der Untersuchung	13
3.2. Wahl des Arbeitsgeräts	15
3.3. Verlauf der Vorbereitung.....	17
3.4. Die Stunde mit iPad-Einsatz - Studiengruppe	20
3.4.1. Sachanalyse - Der piezoelektrische Effekt	21
3.4.1.1. Das α -Quarz als Beispiel piezoelektrischer Kristalle	21
3.4.1.2. Der mechanische Spannungstensor.....	23
3.4.1.3. Der Deformationstensor	24
3.4.1.4. Der longitudinale piezoelektrische Effekt	25
3.4.1.5. Die piezoelektrischen Koeffizienten	29
3.4.1.6. Der transversale piezoelektrische Effekt	30
3.4.1.7. Der piezoelektrische Schubeffekt	31
3.4.1.8. Steigerung der verwertbaren Ladungsmenge.....	32
3.4.2. Didaktische Analyse	34
3.4.3. Methodische Analyse	36
3.4.4. Tabellarischer Verlaufsplan	49
3.5. Die Stunde ohne iPad-Einsatz - Kontrollgruppe	50
3.5.1. Methodische Anpassungen.....	50
3.5.2. Tabellarischer Verlaufsplan	52
3.6. Die Stichprobe.....	53
3.6.1. Überblick über die Lerngruppen.....	53
3.6.2. Lerngruppenanalysen	55
3.6.3. Besonderheiten der Erhebungsstunden	62
4. Methoden der Datenerhebung und -auswertung.....	69
4.1. Darstellung der Erhebungsmethoden.....	69
4.1.1. Der Fragebogen als Forschungsmethode	69
4.1.2. Erhebung der Motivation	70
4.1.2.1. Erläuterung der Skalen nach Kuhn.....	70
4.1.2.2. Anpassung der ursprünglichen Items	72
4.1.3. Erhebung der affektiven Befindlichkeit	74

4.1.3.1.	Erläuterung der Skalen nach Schallberger.....	75
4.2.	Darstellung der Auswertungsmethoden	78
4.2.1.	Prüfung der internen Konsistenz der Skalen	78
4.2.2.	Prüfung der Ergebnisse auf Signifikanz	80
4.2.3.	Bestimmung und Bewertung der Effektstärke	83
4.2.4.	Die Statistiksoftware R.....	83
5.	Ergebnisse der Untersuchung	86
5.1.	Testdaten zur Motivation	88
5.1.1.	Analyse der internen Konsistenz der Skalen.....	88
5.1.2.	Motivationsverlauf der Subskala IE.....	89
5.1.3.	Motivationsverlauf der Subskala Sk	90
5.1.4.	Motivationsverlauf der Subskala RA.....	91
5.1.5.	Motivationsverlauf insgesamt.....	92
5.2.	Testdaten zur affektiven Befindlichkeit	93
5.2.1.	Befindlichkeitsverlauf der Subskala PA	93
5.2.2.	Befindlichkeitsverlauf der Subskala NA	94
5.2.3.	Befindlichkeitsverlauf der Subskala VA.....	95
6.	Diskussion der Ergebnisse	97
6.1.	Ergebnisse des Einflusses der Probestunde auf die Motivation ..	97
6.2.	Ergebnisse des Einflusses der Probestunde auf die affektive Befindlichkeit.....	99
7.	Zusammenfassung und Kritik.....	100
8.	Ausblick	105
9.	Literaturverzeichnis	107
10.	Abbildungsverzeichnis	111
11.	Tabellenverzeichnis	113
12.	Abkürzungsverzeichnis	114
13.	Symbolverzeichnis.....	116
14.	Anhang	118
15.	Erklärung	134

1. Einleitung

Wir leben in einer Welt, in der globale Vernetzungen und digital aufbereitete Daten ungeahnte Auswirkungen auf alle Bereiche des gesellschaftlichen Lebens haben. Im häuslichen Alltag, in Bildungsprozessen und ebenso im Berufsleben oder in der Freizeit spielen Informations- und Kommunikationstechnologien eine zentrale Rolle (vgl. Tulodziecki, Herzig & Grafe, 2010, S. 13).

Da verschiedenste Arten von Medien aus dem Alltag von Jugendlichen nicht mehr wegzudenken sind (vgl. Tulodziecki, Herzig & Grafe, 2010, S. 14ff.), ist die Fragestellung unumgänglich, ob und wie neue Medien in den Schulalltag integriert werden sollten, um motivierend an die Erfahrungswelt der SuS anzuknüpfen. Die Rolle, die der Schule dabei im Speziellen zugeschrieben wird, ist in Kapitel 2.1 erläutert.

Von besonderer Bedeutung ist allerdings die Tatsache, dass Lehrkräfte unter den Anforderungen der digitalisierten Welt nur dann eine angemessene Medienbildung der heranwachsenden Schülergeneration leisten können, wenn sie diese zuvor selbst erfahren haben. Diese Aufgabe soll in beiden Phasen der Lehrerbildung verbindlich erfüllt werden (vgl. Kultusministerkonferenz, 2012, S. 7), was somit insbesondere das Erlangen von Medienkompetenz zur Aufgabe der Hochschulen macht.

Klar scheint zunächst, dass technische Möglichkeiten neuer digitaler Medien genau dann Einzug in den Schulunterricht erlangen sollten, wenn sie diesen sinnvoll bereichern können. Mit der Frage, welche Vor- und Nachteile der überaus junge Spezialfall des Tablet-PCs dabei bietet, beschäftigt sich unter anderem das Projekt „Tablets als Arbeitsgeräte in der Lehre“ der TU Darmstadt unter der Leitung von AkadOR Erik Kremser. Seit dem Wintersemester 2013/14 werden die Chancen, die vor allem das iPad der Firma Apple für die Unterrichtspraxis bietet, Lehramtsstudierenden für Physik in der Fachdidaktik demonstriert und nähergebracht. Anders als in der vorherrschenden Praxis in anderen Projekten (siehe Kapitel 2.3) wird dabei eine Situation beleuchtet, in der zunächst ausschließlich der Lehrer mit Tablets arbeitet, bevor die Lerngruppe mit den Geräten ausgestattet werden kann.

In dem Projekt der TU Darmstadt hat der Autor über zwei Semester als studentische Hilfskraft mitgearbeitet, wodurch in dem Teilbereich der Medienbildung vielfältige Erfahrungen und Eindrücke gesammelt werden konnten. Bei der Arbeit mit und über Tablets sind beim Autor Erkenntnisse über die Art und Weise gereift, wie das Gerät bei reflektiertem Einsatz die Arbeit einer Lehrkraft im Schulunterricht vereinfachen und positiv verändern kann. Genauer zur Begründung des Tablet-PCs als Untersuchungsgegenstand ist in Kapitel 2.2 zu finden.

Diese Beobachtungen führen zwangsläufig zu der Fragestellung, wie sich der lehrerzentrierte Einsatz von Tablets bei Schülerinnen und Schülern (im Folgenden SuS) manifestiert.

Um die spezifische Fragestellung zu untersuchen, welchen Effekt der Einsatz von Tablets seitens der Lehrkraft auf Motivation und Befindlichkeit von Schülern hat, wird im Rahmen dieser Wissenschaftlichen Hausarbeit eine Studie durchgeführt. In mehreren Physikkursen der gymnasialen Oberstufe verschiedener Schulen werden die Auswirkungen einer Unterrichtseinheit zum piezoelektrischen Effekt auf die Motivation und den Befindlichkeitszustand der SuS auf Signifikanz und Effektstärke untersucht.

Weitere Details zum Studiendesign und zur Planung der Unterrichtsstunden sind in Kapitel 3 zu finden, während die Methoden, die zur Datenerhebung und deren Auswertung angewandt wurden, in Kapitel 4 vorgestellt werden. Die Untersuchungsergebnisse sind in Kapitel 5 dargestellt. Nach einer Analyse und Diskussion der Ergebnisse in Kapitel 6 werden in Kapitel 7 die verschiedenen Vorgehensweisen und die Resultate der Studie zusammengefasst und bewertet. Abschließend ist in Kapitel 8 ein Ausblick über die Konsequenzen der Untersuchung und mögliche Weiterführungen der Forschung gegeben.

2. Einordnung der Arbeit in den Kontext von Schule und Forschung

Dieses Kapitel untermauert die Inhalte und Ziele dieser Arbeit theoretisch. Zu diesem Zweck wird zunächst erörtert, welchen Stellenwert die Schule bei der Medienbildung von SuS hat. Anschließend wird begründet, warum der Tablet-PC in diesem Zusammenhang ein aussichtsreicher Untersuchungsgegenstand ist. Nach der Einordnung dieser Arbeit in den aktuellen Forschungsstand zur Tabletnutzung in der Schule werden die daraus resultierenden Forschungsfragen erläutert.

2.1. Bedeutung von Medienbildung für die Schule

Medien unterschiedlicher Art spielen eine wesentliche Rolle im Leben der heutigen Jugend (vgl. Tulodziecki, Herzig & Grafe, 2010, S. 14ff.). Gemäß einem aktuellen Beschluss der Kultusministerkonferenz ist die Medienbildung, welche die Bildung mit Medien und die Bildung über Medien vereinigt, „Pflichtaufgabe schulischer Bildung“ (Kultusministerkonferenz, 2012, S. 3). In diesem Beschluss (Kultusministerkonferenz, 2012) wird die schulische Medienbildung verschiedenen Zielen unterstellt.

Zunächst sollen Schulen den SuS eine fundierte Medienkompetenz vermitteln. Medien sollen demnach in den Lehr- und Lernprozess eingebettet werden, um den Lerngruppen den selbstständigen Umgang mit alten und neuen Medien vertraut zu machen und die Qualität der Unterrichtsmethodik zu verbessern.

Des Weiteren soll in der Schule die Fähigkeit vermittelt werden, Kommunikations- und Massenmedien selbstbestimmt und verantwortungsvoll zu nutzen. SuS sollen durch die schulische Medienbildung ein eigenes Verständnis über Gefahren und Risiken von Medien entwickeln, ohne dadurch der Mediennutzung skeptisch gegenüberzustehen.

Vielmehr sollen die Heranwachsenden lernen, den Umgang mit der modernen Medienwelt kritisch zu hinterfragen, um aktiv und bewusst am gesellschaftlichen sowie kulturellen und politischen Leben teilnehmen zu können. Dazu ist ein sicheres Verständnis über den Schutz der eigenen Daten, ethische und moralische Nutzung von medialen Angeboten sowie die Entwicklung von Handlungsstrategien bei potentiellen Gefährdungen der per-

sönlichen Entwicklung unverzichtbar (vgl. Kultusministerkonferenz, 2012, S. 4ff.).

Die Notwendigkeit dieser Forderungen wird in den Berichten der Projektgruppe „Bildung und Forschung“ der Enquete-Kommission „Internet und digitale Gesellschaft“ deutlich. Dort wird erklärt, dass in Deutschland - trotz überdurchschnittlicher Verfügbarkeit von Computern in privaten Haushalten - die Verfügbarkeit und die Nutzung von Computern in deutschen Schulen weniger ausgeprägt ist als im Durchschnitt der anderen OECD-Staaten (vgl. Deutscher Bundestag, 2013, S. 15). Betrachtet man den Anteil der Lehrkräfte, die eher gegen IT-Nutzung im Unterricht eingestellt ist, so ist dieser in Deutschland dreimal so hoch wie der europäische Durchschnitt (vgl. Deutscher Bundestag, 2013, S. 15). In Studien gaben zwischen 50% und 66% der befragten SuS an, in der Schule nie mit digitalen Medien zu lernen (vgl. Deutscher Bundestag, 2013, S. 16).

Ohne Hinweise auf Finanzierungsmöglichkeiten oder logistische Umsetzung empfiehlt die Enquete-Kommission, „alle Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufen I und II mit mobilen Computern auszustatten und dies mit entsprechenden pädagogischen Konzepten und Qualifizierungsmaßnahmen zu begleiten“ (Deutscher Bundestag, 2013, S. 18).

Bei diesen Überlegungen sollte bedacht werden, dass der reine Einsatz neuer Medien kein Garant für einen erfolgreichen Unterricht ist. In der Vergangenheit gab es zahlreiche Studien und umfassende Metastudien, in denen die Lehrwirkung von mediengestütztem Unterricht mit traditionellem Unterricht verglichen wurde (vgl. Tulodziecki, Herzig & Grafe, 2010, S. 75ff.). Viele der Autoren kamen zum Schluss, dass die Wahl des Mediums keinen Einfluss auf die Lehrwirkung des Unterrichts hat. Andere konnten vornehmlich kleine Effektstärken zugunsten der mediengestützten Variante nachweisen. Die Aussagekraft dieser Ergebnisse wird in der Literatur jedoch angezweifelt, da die Effekte mit hoher Wahrscheinlichkeit auf Unterschiede in den Rahmenbedingungen zurückzuführen sind oder die Treatments nicht nachvollziehbar beschrieben werden (vgl. Tulodziecki, Herzig & Grafe, 2010, S. 77).

Zur Ergänzung dieser Resultate ist die Wirkung neuer Medien aus der Sicht der gestaltungsorientierten Mediendidaktik genauer zu betrachten. In diesem Bereich der Mediendidaktik wird den Wirkungen neuer Medien die didaktische Konzeption zugrunde gelegt, die durch den Medieneinsatz ermöglicht wird. Die Medien selbst spielen eine eher untergeordnete Rolle und werden lediglich als Möglichkeit betrachtet, neue Methoden und didaktische Strukturen zu unterstützen (vgl. Kerres, 2003, S. 39f.).

Auch Effekte neuer Medien auf die Lernmotivation von SuS können nicht ohne weiteres bestätigt werden. Zwar ist ein anfänglicher Motivationsanstieg feststellbar, ist jedoch nur von kurzer Dauer, da attraktiv erscheinende neue Medienangebote mit der Zeit zur Normalität werden (vgl. Kerres, 2003, S. 38).

2.2. Begründung des Tablet-PCs als Untersuchungsgegenstand

Die vorliegende Untersuchung über die Auswirkungen auf die Motivation und die affektive Befindlichkeit von SuS wäre sicherlich auch im Hinblick auf andere neue Medien, wie zum Beispiel Smartphones, und nicht nur für Tablet-PCs interessant. In diesem Abschnitt soll verdeutlicht werden, warum gerade Tablets, die im Vergleich zu anderen Endgeräten noch nicht lange auf dem Markt sind, ein derart hohes Potential für den Einsatz im Physikunterricht versprechen, das es rechtfertigt, diese Geräte näher zu untersuchen.

Tablet-PCs und die technisch ähnlichen Smartphones erfahren in unserer Gesellschaft eine hohe Akzeptanz und Beliebtheit. Gemäß aktueller Studien nutzen bereits 85% der Jugendlichen im Alter von 12 bis 13 Jahren ein Smartphone (vgl. BITKOM, 2014, S. 4). 36% der Jugendlichen zwischen 6 und 18 Jahren nutzen einen Tablet-PC, wobei in dieser Zahl auch Kinder inbegriffen sind, die die Geräte ihrer Eltern benutzen (vgl. BITKOM, 2014, S.4). Über eigene Tablet-PCs verfügen 20% der 12- bis 19-jährigen (vgl. Feierabend, Plankenhorn & Rathgeb, 2014, S. 7). Andere Umfragen ergaben, dass „mindestens jeder Achte in Deutschland einen Tablet-PC [...] besitzt[t]“ (Kuhn & Müller, 2014, S. 300).

Dies ist noch kein Grund dafür, dass die mobilen Endgeräte auch den Einzug in den Schulunterricht finden sollten. Dennoch ist der erwähnte Bekanntheitsaspekt aus dem Alltag dahingehend förderlich, dass - gemäß den Theorien des kontextorientierten beziehungsweise situierten Lernens - die Lerneffektivität und, bei selbstständigem Einsatz, die Eindämmung von tragem Wissen verbessert werden kann (vgl. Kuhn & Müller, 2014, S. 300f.). Der selbstständige Tablet-Einsatz von SuS ist allerdings nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung.

Im Rahmen des Projekts „Tablets als Arbeitsgeräte in der Lehre“ hat der Autor an der TU Darmstadt wesentliche Vorteile kennen gelernt, die Tablet-PCs gegenüber anderen neuen Medien aufweisen.

Zunächst fällt auf, dass Tablets im Vergleich zu Laptops wesentlich handlicher und leichter sind. Das macht den täglichen Transport in die Schule für Lehrkräfte und gegebenenfalls SuS angenehmer.

In Kombination mit einem Beamer kann der komplette Bildschirminhalt von Tablets auf eine Leinwand projiziert werden. Mit entsprechender Software, die bei allen gängigen Betriebssystemen zu finden ist, können im Unterricht tafelähnliche Anschriebe, Bilder, Videos und auch Inhalte aus verschiedenen Anwendungen präsentiert werden. Handschriftliche Aufzeichnungen sind bei allen Tabletmodellen mit speziellen Eingabestiften möglich.

Alle bisher genannten Funktionen können auch von interaktiven Whiteboards erfüllt werden, die in vielen Schulen zu finden sind. Bei diesen Geräten bedarf es jedoch des Einsatzes eines Computers, auf dem die Anwendungen ausgeführt werden. In Gesprächen, die bei den Hospitationen im Rahmen dieser Untersuchung stattgefunden haben (siehe Abschnitt 3.1), wurde von Lehrkräften berichtet, dass der dafür erforderliche Computer in einigen Schulen fest mit dem interaktiven Whiteboard verbunden ist. Dadurch können Lehrkräfte ihre vorbereiteten Dateien oft nur über Umwege auf dem Anzeigegerät darbieten, was möglicherweise mit Kompatibilitätsproblemen verbunden ist.

Diese Kompatibilitätsprobleme treten beim Tablet hingegen nicht auf, wenn es von der Lehrkraft mit nach Hause genommen werden kann, und

Vorbereitungen auf demselben Gerät stattfinden, mit dem sie im Unterricht vorgeführt werden.

Ein weiterer großer Vorteil bietet die Möglichkeit, den Inhalt des Displays von Tablets mit Hilfe von Empfangsgeräten drahtlos über den Beamer abzubilden (siehe Kapitel 3.2). Dadurch ist es der Lehrkraft möglich, sich flexibel im Klassenzimmer zu bewegen, ohne auf Grund der begrenzten Kabellänge mobil eingeschränkt zu sein. Bei drahtloser Übertragung können SuS von ihrem Platz aus das Tablet phasenweise bedienen. Auf diese Weise werden die Lernenden nach und nach an den Gebrauch des Tablets gewöhnt.

Außerdem bieten Tablet-PCs im Physikunterricht große Unterstützung beim Experimentieren. Dank eingebauter Sensoren wie Kamera, Mikrofon, Gyroskop, GPS-Empfänger, Beschleunigungs-, Magnetfeld-, Beleuchtungsstärke-, Temperatur- sowie Druck- und Luftfeuchtigkeitssensoren können einige Tabletmodelle eine Vielzahl unterschiedlicher Daten erfassen und mit Hilfe geeigneter Programme auswerten (vgl. Kuhn & Müller, 2014, S. 300).

Diese Überlegungen beinhalten, dass die meisten der aufgeführten Anwendungsmöglichkeiten von Tablet-PCs in der Schule auch von eigens dafür vorgesehenen Geräten erfüllt werden können. Dennoch sollte bedacht werden, dass für alle der dargestellten unterschiedlichen Nutzungsweisen im herkömmlichen Unterricht ein zusätzliches Gerät benötigt werden würde. Respektive gilt also, dass die Lehrkraft in vielen aufwendig inszenierten Unterrichtssituationen einen Tablet-PC als universelles Unterrichtswerkzeug verwenden könnte, ohne ständig das Medium zu wechseln. Diese Abwendung von technologischer Hektik könnte sich positiv auf den Gemütszustand der SuS auswirken und die Lernatmosphäre im Physikunterricht verbessern.

Die lange Akkulaufzeit von vielen Tablet-PCs ermöglicht es der Lehrkraft, einen kompletten Schultag mit einer einzigen Akkuladung problemlos zu koordinieren, ohne dabei immer ein Ladegerät zur Hand haben zu müssen, wie dies bei vielen Notebooks nötig ist. Bei Tablets gibt es in dieser Hin-

sicht große Unterschiede (vgl. Schartel, 2014), was bei der Gerätewahl beachtet werden sollte.

Wie in Kapitel 2.3 noch näher dargestellt wird, wurde in allen größeren Studien zum Tableteinsatz in Schulen ausschließlich der Fall der 1:1-Ausstattung untersucht. Das bedeutet, dass jede Schülerin und jeder Schüler mit einem Tablet ausgestattet ist. Die Methode, bei der ausschließlich die Lehrkraft das Gerät als Unterrichtsmedium nutzt, ist hingegen nicht nennenswert erforscht.

Aus den Überlegungen dieses Kapitels folgt, dass Tablet-PCs in großem Maße geeignet sind, den Physikunterricht in Schulen zu begleiten. Die erwähnten Forschungslücken in Kombination mit dem aktuellen Forschungsstand (siehe Kapitel 2.3) werfen die Forschungsfragen auf, die in Kapitel 2.4 formuliert sind.

2.3. Forschungsstand zum Einsatz von Tablet-PCs im Unterricht

Es gibt bereits eine Vielzahl von Studien in vielen Teilen der Erde, die sich mit der Fragestellung beschäftigen, inwiefern Tablet-PCs in der Schule einsetzbar sind und welche Vorteile dies mit sich bringen könnte. Die enorme Fülle an Publikationen macht es nahezu unmöglich, sich selbstständig einen wirklichen Überblick über deren Ergebnisse anzueignen. Aus diesem Grund wurden in diesem Kapitel zu einem großen Teil Bezüge zu Autoren hergestellt, die in Form von Metastudien bereits vielzählige Untersuchungen zur Erkenntnisgewinnung zusammengefasst haben.

Die BSP Business School Berlin Potsdam hat zu diesem Thema eine umfangreiche Metastudie publiziert (siehe Groebel & Wiedermann, 2012). Darin wurden insgesamt 21 Studien aus Deutschland, Großbritannien, Australien als auch den USA zusammengefasst und Schlussfolgerungen gezogen. Neben Projekten über Netbookklassen wurden hauptsächlich Untersuchungen von Tablet-Klassen berücksichtigt.

Sämtliche Studien wurden in einer 1:1-Ausstattungs-konzeption durchgeführt. Demnach steht jedem SuS und jeder Lehrkraft ein persönliches Endgerät zur Verfügung, welches im Unterricht und zu Hause uneingeschränkt zum Arbeiten verwendet werden kann (vgl. Groebel & Wiedermann, 2012,

S. 79f.). Durch diese „Personalisierung digitaler Lerngeräte“ (Groebel & Wiedermann, 2012, S. 80) ist eine Steigerung der Schülerzentrierung bei Lernprozessen optimal unterstützt. Bei deutschen SuS wurde beim personalisierten Einsatz *Neuer Digitaler Lernwerkzeuge* (NDLW) gleichermaßen eine eindeutige Zufriedenheit mit dem Einsatz der NDLW als auch eine Leistungssteigerung festgestellt. Dabei wird allerdings nicht davon ausgegangen, dass die Endgeräte alleine für diese Effekte verantwortlich sind. Vielmehr ist es die veränderte Lehr- und Lernpraxis, die die Medienkompetenz der SuS sowie den strategischen Umgang mit Lernmaterialien fördern, wodurch letztendlich die Schülerleistungen verbessert werden können (vgl. Groebel & Wiedermann, 2012, S. 73f.).

In allen Fällen, in denen der Einsatz von NDLW in der Schule auf der motivationalen Ebene untersucht wurde, wurde festgestellt, dass die Motivation und das Engagement der SuS stiegen. Zusätzlich wurde in vielen Fällen eine erhöhte Aufmerksamkeit der SuS bestätigt (vgl. Groebel & Wiedermann, 2012, S. 74).

Unter den Tablets wurde in diesen Studien insbesondere das iPad der Firma Apple untersucht und aus folgenden Gründen anderen Tablets vorgezogen (Groebel & Wiedermann, 2012, S. 71):

- „leichte Handhabung und Bedienbarkeit“
- „Stabilität und Zuverlässigkeit des Betriebssystems“
- „zuverlässige und schnelle Anwendbarkeit“
- „Unempfindlichkeit gegenüber Viren“
- „eine Technik, die eine logische Erschließbarkeit zulässt – sich also selbst erklärt“
- „lange Batterielaufzeit“

An verschiedenen Schulen, an denen der Einsatz von iPads erprobt wurde, wurden die Schulleiter als Experten interviewt. Die Aussagen bestätigen ein grundlegendes Potential für den Einsatz von iPads im Schulunterricht, wie er zuvor auch generell für NDLW diskutiert wurde. Demnach können durch selbstständige Unterrichtsformen und eine erhöhte Schülerorientierung

neue Möglichkeiten zur Lernerfolgssteigerung entstehen (vgl. Groebel & Wiedermann, 2012, S. 86f.).

Bemängelt wurde jedoch in allen Fällen das geringe Angebot an inhaltlich vertrauenswürdigen Apps, die uneingeschränkt in der Schule einsetzbar sind. Insbesondere gibt es seitens der Schulbuchverlage bisher keine Alternativen zum herkömmlichen Schulbuch, wodurch die Arbeit mit dem iPad oftmals durch fehlende Software erschwert wird (vgl. Groebel & Wiedermann, S. 70).

Zu erwähnen sind auch die Eltern von SuS, die an den Pilotprojekten teilgenommen haben, die die Nutzung von iPads in der Schule differenziert sehen. Zum einen befürworten die Erziehungsberechtigten den Einsatz, da in der heutigen Berufswelt eine tiefgreifende Medienkompetenz unausweichlich ist. Zum anderen sorgen sie sich wegen des hohen Ablenkungspotentials der Geräte sowie des Datenschutzes ihrer Kinder (vgl. Groebel & Wiedermann, S. 71).

Wenn man bedenkt, wie jung die Verfügbarkeit von Tablet-PCs noch ist, ist es bemerkenswert, wie groß das Forschungsfeld in Deutschland ausgeprägt ist. So konnte Luise Ludwig durch eingehende Recherchearbeiten bis März 2013 bereits 90 Projekte erfassen, in denen Tablet-PCs in Schulen erprobt wurden (vgl. Ludwig, 2013).

Die *AG Didaktik der Physik* der TU Kaiserslautern (AG Kuhn) untersucht derzeit intensiv den Einsatz von Tablets und Smartphones als Experimentiermittel im Physikunterricht von Schule und Hochschule.

In diesem Zusammenhang werden unter dem Projekt „iMechanics“ smartphonegestützte Experimente im Themengebiet Mechanik für die Sekundarstufe II entwickelt. Unter anderem sollen die Auswirkungen des Smartphoneinsatzes auf das Fachwissen und die Motivation untersucht werden (vgl. Hochberg).

Im ebenfalls der AG Kuhn zugehörigen Projekt „iAcoustics“ wird ein Themenmodul über Akustik für die Sekundarstufe II entworfen, welches tablet- und smartphonegestützte Experimentiermöglichkeiten in einem Schülerla-

bor enthält. Auch hier werden Untersuchungen über die Motivation und Aspekte der Neugierde durchgeführt (vgl. Hirth).

In dem Projekt „physics.move“, welches ebenso von der AG Kuhn durchgeführt wird, werden Übungsaufgaben im Rahmen der Grundlagenveranstaltung *Experimentalphysik I* gestellt, die die Analyse von Experimentalvideos beinhalten. Die Videos können vorgegeben sein oder von den Studierenden selbst hergestellt werden. Sowohl zur Erstellung als auch zur Auswertung der Videoexperimente werden Tablet-PCs genutzt. Untersuchungsgegenstand sind sowohl unterschiedliche Aspekte der Motivation und der Neugierde als auch Fachkompetenzen (vgl. Klein & Gröber).

2.4. Konsequenzen und resultierende Forschungsfragen

Betrachtet man die vorherigen Kapitel, so ergibt sich die Schlussfolgerung, dass Tablet-PCs vielzählige Möglichkeiten bieten, den Physikunterricht medial zu unterstützen (vgl. Abschnitt 2.2). In der 1:1-Ausstattung hat sich herausgestellt, dass der Einsatz von Tablets und anderen NDLEn die Lehr- und Lernsituation in Schulen derart verändern kann, dass positive Einflüsse auf die Leistung, die Motivation und auf das Engagement von SuS festgestellt wurden (vgl. Abschnitt 2.3).

Daraus ergeben sich unweigerlich korrespondierende Fragen über die Wirkung von Tablet-PCs auf SuS im Physikunterricht, wenn exklusiv die Lehrkraft mit einem solchen Gerät ausgestattet ist. Geht man davon aus, dass ausschließlich die offener und schülerorientierter gestalteten Lernformen, die durch die Tabletarbeit ermöglicht werden, für die Erfolge verantwortlich sind, dürfte es keine Veränderung der zu untersuchenden Parameter bei den SuS geben, wenn alleine die Lehrkraft mit einem Tablet ausgestattet ist. Bei allen größer angelegten Untersuchungen wurde diese Variante jedoch nicht beleuchtet. Dadurch ergibt sich ein Forschungsgebiet, welchem derzeit kaum Beachtung geschenkt wird, zu dem es jedoch eine große Zahl offener Fragen gibt.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit kann nur eine begrenzte Auswahl dieser Fragen aufgegriffen und empirisch untersucht werden. In diesem Sinne steht im Zentrum der Untersuchung, wie sich die beschriebene Art des Tab-

leteinsatzes im Physikunterricht auf die Motivation und den affektiven Befindlichkeitszustand der SuS auswirkt. Im Speziellen sollen auf die folgenden Forschungsfragen (FF) empirisch fundierte Antworten gefunden werden:

- FF 1.** Mit welchen Skalen können, unter Gewährleistung einer hinreichenden Testgüte, die Konstrukte der Schülermotivation und der affektiven Befindlichkeit von SuS erhoben werden?
- FF 2.** Lässt sich durch eine Unterrichtsstunde, in der die Lehrkraft einen Tablet-PC zur medialen Gestaltung verwendet, die Motivation von SuS im Physikunterricht der Sekundarstufe II anders beeinflussen als durch eine Unterrichtsstunde, in der die Lehrkraft andere neue Medien verwendet?
- FF 3.** Lässt sich durch eine Unterrichtsstunde, in der die Lehrkraft einen Tablet-PC zur medialen Gestaltung verwendet, die affektive Befindlichkeit von SuS im Physikunterricht der Sekundarstufe II anders beeinflussen als durch eine Unterrichtsstunde, in der die Lehrkraft andere neue Medien verwendet?

In Kapitel 7 werden aus den Ergebnissen der vorliegenden Studie empirische Antworten auf die aufgeworfenen Forschungsfragen (FF1 – FF3) abgeleitet.

3. Vorgehensweisen der Untersuchung

3.1. Überblick über das Vorgehen der Untersuchung

Im Rahmen dieser Arbeit soll untersucht werden, welchen Einfluss der Einsatz von Tablets durch die Lehrkraft auf die Motivation und die affektive Befindlichkeit von SuS im Physikunterricht der Sekundarstufe II hat (vgl. Kapitel 2.4).

Zu diesem Zweck wird eine Studie durchgeführt, dessen Design dem einer *prospektiv kontrollierten Studie ohne Randomisierung* (vgl. Eckle-Kohler & Kohler, 2009, S. 13) entspricht. Es werden Physikkurse der Sekundarstufe II mehrerer Schulen aus dem Landkreis Darmstadt-Dieburg in zwei Versuchsgruppen eingeteilt, welche im Folgenden *Studien-* und *Kontrollgruppe* genannt werden.

Die Einteilung erfolgt nicht zufällig, sondern durch eine Auswahl, aus der möglichst ähnliche Gruppenbeschaffenheiten resultieren. Um in der Untersuchung ein breites Spektrum von SuS der Sekundarstufe II abzudecken, werden sowohl Physikleistungs- als auch Physikgrundkurse von Gymnasien einbezogen. Außerdem werden Kurse der Phase Q1 sowie ein Kurs der Phase Q3 berücksichtigt. Da sich die zu untersuchenden Faktoren unterschiedlich auf die verschiedenen Kursarten auswirken könnten, wird bei der Gruppeneinteilung darauf geachtet, dass die verschiedenen Kursmerkmale in den beiden Versuchsgruppen möglichst gleich stark ausgeprägt sind (siehe Kapitel 3.6).

Die Unterrichtseinheiten, die in den beiden Versuchsgruppen gehalten werden, sind für Deutschland typische einzelne Schulstunden à 45 Minuten. Hinweise darauf, wie diese Stunden in eine mögliche Unterrichtsreihe eingebettet sein könnten, werden in Kapitel 3.4.2 angegeben.

In den Kursen der Studiengruppe wird eine Unterrichtsstunde zum piezoelektrischen Effekt gehalten, in der das Tablet als Arbeitsgerät eingesetzt wird. Die Kurse der Kontrollgruppe werden über dasselbe Thema unterrichtet, allerdings ohne den Einsatz eines Tablets. Der Inhalt als auch die Konzeption der Unterrichtsstunde, die in der Kontrollgruppe gehalten wird, soll sich in möglichst wenigen Punkten von der Unterrichtsstunde der Studiengruppe unterscheiden.

Entscheidend ist bei dem Unterrichtsversuch, dass der Einsatz anderer neuer Medien in der Kontrollgruppe keineswegs eingeschränkt wird. Zur adäquaten Untersuchung der in Kapitel 2.4 formulierten Forschungsfragen ist dieser sogar förderlich, da ein gewisser Neuigkeitseffekt (vgl. Kapitel 2.1) in beiden Gruppen auftreten wird. Diese Tatsache macht die Ergebnisse aus den Unterrichtsstunden in den beiden Versuchsgruppen vergleichbar, da das Auftreten eines Neuigkeitseffekts in nur einer Gruppe die beobachtete Motivation sowie Befindlichkeit der SuS weitaus mehr verzerren würde als nötig.

Einzelheiten zur Wahl des Tabletmodells als Arbeitsgerät sind in Kapitel 3.2 aufgeführt. Die genaue Beschaffenheit der Stichprobe und die Einteilung in Studien- und Kontrollgruppe wird in Kapitel 3.6 erläutert; die beiden Unterrichtsstunden, die zum Zweck der Untersuchung gehalten werden, sind in Kapitel 3.4 und Kapitel 3.5 dargestellt und analysiert.

Da insbesondere die Erfassung von aussagekräftigen affektiven Befindlichkeiten eingeschränkt ist, wenn sich Probanden in einer ungewohnten Situation befinden, stellt es für die Untersuchung einen Vorteil dar, wenn der Autor für die SuS zum Zeitpunkt der Erhebung nicht gänzlich unbekannt ist. Aus diesem Grund hospitiert der Autor im Vorfeld zu der relevanten Unterrichtsstunde zum piezoelektrischen Effekt in allen Physikkursen, die Gegenstand dieser Studie sind. Folglich sehen die Lernenden seine Anwesenheit nicht mehr als ungewohnt an.

Für die Untersuchung steht nur ein begrenztes Zeitfenster zur Verfügung. Auf Grund der großen Anzahl an zu besuchenden Kursen kann in jedem Kurs nur an zwei Terminen hospitiert werden. In Kapitel 3.6.1 ist ein Überblick über die Beschaffenheit der Lerngruppen als auch die terminliche Abfolge der Hospitationen und der Erhebungsstunden gegeben.

Die Erhebungsstunden sind stets in Doppelstunden eingebettet. Eine solche Vorgabe ermöglicht es, den motivationalen Zustand und die affektive Befindlichkeit der SuS vor wie auch nach der vorgeführten Unterrichtsstunde zu evaluieren. Durch dieses Verfahren wird in allen Kursen untersucht, inwiefern die gehaltene Probestunde bei den SuS in ihrer Motivation und in ihrer Befindlichkeit eine Veränderung hervorgerufen hat. Die Werkzeuge

zur Erhebung der zu untersuchenden Konstrukte werden in Kapitel 4.1 dargestellt und begründet. Die Methoden, die zur statistischen Auswertung der Daten verwendet werden, sind in Kapitel 4.2 zu finden.

Die Unterrichtsstunden werden gefilmt, um bei der Auswertung einzelne Szenen anschauen und so den tatsächlichen Verlauf noch einmal verfolgen zu können. Dazu ist es notwendig, dass von allen SuS eine Einverständniserklärung vorliegt, die von ihren Eltern unterschrieben wurde.

Bei der Formulierung der Einverständniserklärung wurde berücksichtigt, dass die Aufnahmen von Lehrenden der TU Darmstadt zu Studienzwecken genutzt werden können, wodurch auch eine vom Autor unterschriebene Einverständniserklärung nötig ist. Dadurch kann das Filmmaterial - über die Studie hinaus - insbesondere die Lehrerausbildung bereichern. Die Einverständniserklärung für die SuS ist in Anhang G abgebildet, während die Einverständniserklärung des Autors in Anhang H dokumentiert ist.

3.2. Wahl des Arbeitsgeräts

In Kapitel 2.2 wurde bereits erläutert, worin das Potential bei Tablets zu sehen ist, welches eine Untersuchung auf deren Verwendbarkeit im Schulunterricht rechtfertigt. Durch die zeitliche Begrenzung dieser Arbeit kann die Untersuchung nicht mit allen Tabletssystemen durchgeführt werden, von denen ein qualitativer Unterschied erwartet werden kann. In einer groben Differenzierung kann dabei zwischen iPads, Android- und Windows-Tablets unterschieden werden.

Stattdessen wird nur ein einziges Modell ausgewählt und als Untersuchungsgegenstand betrachtet. Die Übertragbarkeit der Resultate auf andere Tablettypen wird im Anschluss diskutiert (siehe Kapitel 7).

Im Folgenden wird aufgeführt, wie die Entscheidung für das ausgewählte Tablet getroffen wurde. Dazu wird erläutert, welche spezifischen Anforderungen das Gerät für die vorliegenden Zwecke erfüllen muss und inwiefern die verschiedenen Tabletssysteme diesen genügen.

Die drahtlose Übertragung der Bildschirminhalte auf den verwendeten Beamer ist für die tabletgestützte Unterrichtsgestaltung sehr wichtig (vgl.

Kapitel 2.2). Sie wird von allen drei zu unterscheidenden Tablettypen unterstützt, was im Folgenden dargestellt wird:

Das **iPad** kann mit einem Apple TV über die Schnittstelle Airplay (vgl. Apple Inc., 2014) Verbindung aufnehmen, welches per HDMI-Kabel mit einem Beamer verbunden wird.

Verwendet man ein Apple TV der 3. Generation Revision A, auf dem die Firmware der Version 7.0 installiert ist, kann es ohne den Einsatz weiterer Geräte mit einem iPad verbunden werden, auf dem iOS 8 installiert ist und das frühestens aus dem Jahr 2012 stammt. Für ältere Geräte beziehungsweise Softwareversionen müssen sich iPad und Apple TV in einem gemeinsamen WLAN-Netzwerk befinden (vgl. Apple Inc., 2014).

Für **Android-** und **Windows-Tablets** existiert ein ähnlicher Standard zur drahtlosen Bildschirmübertragung, der *Miracast* genannt wird. Dieser soll firmenunabhängig und - laut Google - fester Bestandteil des Betriebssystems Android 4.2 sein. Doch gerade in diesem Bereich enttäuscht der Standard durch mangelnde Hardwarekompatibilität (vgl. Seibt, 2013).

Das Tablet sollte über eine entsprechend lange Akkulaufzeit verfügen, um einen kompletten Schultag problemlos zu begleiten. In einem Vergleich stellte sich heraus, dass nur wenige der getesteten Android- und Windowsmodelle eine ähnlich große Akkuleistung erreichen wie das iPad ab der vierten Generation (vgl. Schartel, 2014).

Weiterhin müsste das Gerät über eine Kamera verfügen, um als Dokumentenkamera eingesetzt werden zu können. In modernen Tablets sind mittlerweile fast immer entsprechende Kameras eingebaut, sodass keines der Tablettypen einen nennenswerten Nachteil bieten würde.

Besonders wegen der zuverlässigeren Bildschirmübertragung, der vielversprechenden Akkulaufzeit und aus den genannten Gründen, die in Kapitel 2.3 das iPad unter den Tablet-PCs hervorheben, wird die vorliegende Untersuchung mit einem iPad durchgeführt. In Anbetracht der Verfügbarkeit wird ein Modell der vierten Generation eingesetzt. Im Rahmen des Projekts „Tablets als Arbeitsgeräte in der Lehre“ wurde die gleiche Hardware in der

Lehrveranstaltung „Tutorium zur Physik“ der TU Darmstadt erprobt, wodurch die prognostizierten Vorzüge bestätigt wurden.

Da in nur zwei der besuchten Schulen ein Beamer vorhanden ist, der über eine HDMI-Eingangsbuchse verfügt, muss in den übrigen Schulen ein HDMI-VGA-Adapter verwendet werden, um das Signal des Apple TVs an den Beamer übertragen zu können.

3.3. Verlauf der Vorbereitung

Im Vorfeld der Studie gab es umfangreiche Vorbereitungen zu treffen.

Zunächst musste mit Schulen Kontakt aufgenommen werden, an denen die Untersuchung durchgeführt werden konnte.

Das erklärte Ziel war es zunächst, Physikleistungskurse von Schulen ausfindig zu machen, in denen es mindestens zwei Physikleistungskurse in einer Jahrgangsstufe gibt. Dadurch hätte von jeder Schule je ein Kurs der Studien- und ein Kurs der Kontrollgruppe zugeordnet werden können. Mögliche Unterschiede in der Einstellung der Schülerpopulationen unterschiedlicher Schulen bezüglich dem Einsatz neuer Medien hätten sich also auf beide Gruppen gleich verteilt.

Mit dieser Absicht nahm der Betreuer dieser Arbeit per E-Mail Kontakt zu 22 Schulen des Landkreises Darmstadt-Dieburg auf. Darunter waren Gymnasien, Oberstufengymnasien, integrierte Gesamtschulen und kooperative Gesamtschulen, sofern diese über einen Oberstufenzweig verfügten.

Die meisten Lehrkräfte von Physikleistungskursen aus der Phase Q3 lehnten die Teilnahme an der Studie sofort ab, da sich die Kurse in der Abiturvorbereitungsphase befinden.

Es stellte sich heraus, dass es in keiner der interessierten Schulen zwei Physikleistungskurse in einer Jahrgangsstufe gab. Andere interessierte Schulen hatten keinen Physikleistungskurs in der Phase Q1. Wieder andere Schulen nahmen letztendlich nicht an der Studie teil, da die Lehrkräfte, welche die aktuellen Physikleistungskurse in der Q1 leiten, kein Interesse an dem Projekt bekundeten. Hinzu kamen terminliche Schwierigkeiten, wie zum Beispiel Klausurvorbereitungszeiten vor den Weihnachtsferien.

Die geringe Anzahl an Zusagen machte es erforderlich, auch Grundkurse in die Studie einzubeziehen, um die gewünschte Anzahl von 8 Physikkursen zu erreichen. Die Anzahl wurde folgendermaßen festgelegt: Um sinnvolle Signifikanztests durchführen zu können, muss die Anzahl der Probanden in beiden Versuchsgruppen jeweils größer als 30 sein (vgl. Abschnitt 4.2.2). Durch die geringe Anzahl der SuS, die in vielen Physikkursen vorzufinden ist (siehe Abschnitt 3.6.1), erschien der Besuch von vier Kursen pro Versuchsgruppe sinnvoll.

Die zusätzliche Berücksichtigung von Grundkursen und unterschiedlichen Schulformen eröffnet die im Vorfeld unbeachtete Möglichkeit, eine umfassendere Untersuchung der Medienwirkung auf SuS der Sekundarstufe II durchzuführen. Bei der alleinigen Betrachtung von Leistungskurschülern einer einzigen Schulform würde bereits eine selektive Stichprobe vorliegen, die möglicherweise nicht repräsentativ für die gesamte Population von SuS der Sekundarstufe II ist.

Gemeinsam mit dem Betreuer der vorliegenden Arbeit besuchte der Autor sechs Schulen und eine Schule alleine, um das Projekt entweder der Lehrkraft, die den in Frage kommenden Physikkurs leitet, oder Mitgliedern der Schulleitung vorzustellen. Nur mit einer der besuchten Schulen kam keine Kooperation zustande. In einer der Schulen (Schule 3, vgl. Kapitel 3.6) konnten neben dem Physikleistungskurs auch zwei Grundkurse für das Projekt gewonnen werden.

Nachdem ausreichend viele Lehrkräfte ihre Zusage erteilt hatten, wurden die Termine zur Hospitation und zur Durchführung koordiniert, damit keine Überschneidungen stattfanden (siehe Abschnitt 3.6.1). Angesichts der zeitlichen Überlagerung von Kurszeiten und Klausurterminen, die in die Projektphase fielen, konnten nicht alle Schulbesuche vor den Weihnachtsferien stattfinden. Die Termine der Hospitations- und Erhebungsstunden in zwei Kursen wurden deshalb auf die ersten beiden Wochen nach den Ferien verlegt.

Bei der Einteilung der Kurse in Studien- und Kontrollgruppe wurden verschiedene Aspekte beachtet: Einerseits wurde versucht, die Größe der gesamten Versuchsgruppen möglichst gleich zu wählen, damit ein aussage-

kräftiger Vergleich in den Untersuchungsschwerpunkten möglich wird. Andererseits musste auch berücksichtigt werden, wie die einzelnen Lehrkräfte das Projekt in den Kursen vorgestellt hatten. Entgegen der Absprache mit dem Autor informierten zwei Lehrkräfte ihre SuS dahingehend, dass die Unterrichtsstunde mit einem iPad durchgeführt werden würde. Wären diese Kurse der Kontrollgruppe zugeordnet worden, hätte das die Motivation und die Befindlichkeit von potenziell enttäuschten SuS verzerrt.

Nach Möglichkeit sollten unterschiedliche Kursmerkmale wie Kurstyp und Schulform auf beide Versuchsgruppen gleich verteilt werden, damit sich die medienbezogenen Einstellungen der SuS in den unterschiedlichen Versuchsgruppen nicht zu stark unterscheiden. Durch einen Mangel an Zusagen von Schulen mit passenden Physikkursen musste dieses Ideal modifiziert werden. Die Gruppeneinteilung wurde nun so gestaltet, dass sich dennoch möglichst ähnliche Versuchsgruppen gegenüberstehen.

Zwei Tage vor der geplanten Erhebungsstunde in Kurs 8 wurde der Termin durch die Kurslehrkraft abgesagt. Der Vorschlag der Lehrkraft, die Erhebungsstunde eine Woche später durchzuführen, musste vom Autor abgelehnt werden, da der vorgeschlagene Termin zwei Wochen vor dem Abgabedatum dieser Arbeit lag. Die gesamte Auswertung der Ergebnisse der Kontrollgruppe hätte erst nach diesem Zeitpunkt stattfinden können, was nach Auffassung des Autors zeitlich nicht realisierbar gewesen wäre.

Durch den Verzicht auf Kurs 8 ergibt sich für die Auswertung und die Aussagekraft der Ergebnisse kein Nachteil. Zwar beinhaltet die Kontrollgruppe zwei Physikleistungskurse und nur einen Physikgrundkurs, während dieses Verhältnis in der Studiengruppe ausgeglichen ist. Dennoch ist in der Kontrollgruppe die Anzahl der Leistungskurs-SuS durch die geringe Kursgröße von Kurs 2 nur geringfügig größer als die Anzahl der Grundkurs-SuS.

Die in diesem Kapitel geforderte Versuchsgruppengröße von mehr als 30 Probanden ist trotz der verringerten Kursanzahl auch in der Kontrollgruppe erfüllt (vgl. Abschnitt 3.6.1).

Bereits im Vorfeld bekamen alle Kurslehrkräfte die Einverständniserklärungen zur Erstellung und Verwendung von Filmmaterial (siehe Anhang G)

ausgehändigt, damit diese frühzeitig von der Schulleitung genehmigt und im Kurs verteilt werden konnten.

Da jede Schülerin und jeder Schüler sowohl vor als auch nach der vom Autor gehaltenen Unterrichtsstunde befragt wurde, wurden für die Erhebungsstunden relativ viele Materialien benötigt. Insgesamt wurden pro Schüler oder Schülerin (SoS) zehn Seiten in Form von Fragebögen und einem Arbeitsblatt ausgeteilt. Um die Unterlagen nicht zu vertauschen, wurden beschriftete Briefumschläge verwendet, in denen sie in die jeweiligen Schulen transportiert wurden. Dieselben Umschläge wurden dazu verwendet, die ausgefüllten Fragebögen und die Einverständniserklärungen aufzubewahren, damit keine Verwechslungen stattfinden konnten.

3.4. Die Stunde mit iPad-Einsatz - Studiengruppe

In der Unterrichtsstunde, die in den Kursen der Studiengruppe gehalten wurde, arbeitete der Autor mit einem iPad. Um einen Überblick über den geplanten Ablauf und die Inhalte der Stunde zu geben, dokumentiert dieses Kapitel den Unterrichtsentwurf.

Zunächst wird in der Sachanalyse der piezoelektrische Effekt vorgestellt, der in beiden Versuchsgruppen den inhaltlichen Schwerpunkt der Unterrichtsstunde darstellt. Darauf folgt die didaktische und die methodische Analyse der Stunde, gefolgt vom tabellarischen Verlaufsplan (siehe Tabelle 1). Die Lerngruppenbeschreibungen befinden sich in Abschnitt 3.6.2.

Das iPad wird in der Unterrichtsstunde der Studiengruppe für folgende Zwecke vorgesehen:

- Aufnahme von Details beim Experimentieren und Arbeitsergebnissen von SuS mit der integrierten Kamera → Ersatz einer Dokumentenkamera
- Handschriftliche Notationen → Ersatz einer Tafel
- Demonstration von Abbildungen und von digitalen Animationen → Ersatz eines Laptops beziehungsweise Computers

3.4.1. Sachanalyse - Der piezoelektrische Effekt

Nachdem im 18. Jahrhundert Beobachtungen des pyroelektrischen Effekts ihren Weg nach Europa fanden, gab es unter einigen Forschern das Bestreben, einen vermuteten Zusammenhang zwischen mechanischem Druck und Elektrizität nachzuweisen (vgl. Gautschi & Tichý, 1980, S. 5). 1880 wurde schließlich von den Brüdern Pierre und Jacques Curie der direkte piezoelektrische Effekt an Turmalinkristallen entdeckt. Sie erkannten, dass „der in bestimmten Richtungen angelegte Druck an gegenüberliegenden Kristallflächen ungleichnamige elektrische Oberflächenladungen, die dem wirkenden Druck proportional sind, hervorruft“ (Gautschi & Tichý, 1980, S. 5).

3.4.1.1. Das α -Quarz als Beispiel piezoelektrischer Kristalle

Der bedeutendste Einkristall stellt in der piezoelektrischen Messtechnik das Quarz (Siliciumdioxid, SiO_2) dar. Bei Temperaturen kleiner als 573°C tritt Quarz in der Modifikation des α -Quarzes auf, in welcher der piezoelektrische Effekt auftritt (vgl. Gautschi & Tichý, 1980, S. 101).

In den Unterrichtsstunden, die im Rahmen der vorliegenden Studie gehalten werden, wird α -Quarz als Beispiel gewählt, um den piezoelektrischen Effekt exemplarisch zu erschließen. In der Sachanalyse wird daher zunächst der kristalline Aufbau von α -Quarz vorgestellt und in den weiteren Ausführungen zum piezoelektrischen Effekt beispielhaft betrachtet.

Die Kristallstruktur gehört zu der „trigonal-trapezoedrischen Symmetrieklasse 32 des rhomboedrischen (trigonalen) Kristallsystems“ (Gautschi & Tichý, 1980, S. 101).

Um einen bestmöglichen Überblick über die Symmetrie eines Kristallgitters zu bekommen, können *Einheitszellen*, auch *Elementarzellen* genannt, des *Bravais-Gitters* dargestellt werden. Dazu werden die Einheitszellen so festgelegt, dass sie „die höchstmögliche Anzahl von Punktsymmetrieelementen enthalten“ (Hunklinger, 2011, S. 54).

In Abbildung 1 ist die Einheitszelle eines trigonalen Bravais-Gitters veranschaulicht, wie sie in α -Quarz vorliegt. Diese Struktur setzt sich im Kristall in alle Raumrichtungen fort.

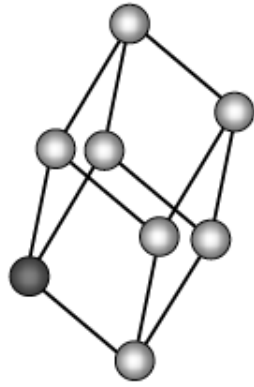


Abbildung 1: Einheitszelle eines trigonalen Bravais-Gitters; der dunkle Gitterpunkt symbolisiert die Zugehörigkeit zu dieser Einheitszelle, während die hellen Gitterpunkte zu den angrenzenden Einheitszellen gerechnet werden

(Quelle: Hunklinger, 2011, S. 55)

Die Elementarzellen der Kristallstruktur setzen sich aus drei SiO_2 -Molekülen zusammen (vgl. Gautschi & Tichý, 1980, S 101).

Da eine trigonale Einheitszelle primitiv ist, umfasst sie nur einen Gitterpunkt (vgl. Hunklinger, 2011, S. 51). Dementsprechend befinden sich an jedem Gitterpunkt in Abbildung 1 drei SiO_2 -Moleküle. In Kombination mit benachbarten Einheitszellen ergeben sich Sauerstofftetraeder, in deren Mitte sich jeweils ein Siliciumatom befindet (vgl. Gautschi & Tichý, 1980, S. 101).

Durch eine starke Vereinfachung, in der nahe gelegene Sauerstoffatome paarweise zusammengefasst sowie der schraubenförmige Verlauf der Einheitszellenanordnung aus Abbildung 1 berücksichtigt werden, kann die Atomanordnung im α -Quarz mit den zugehörigen Teilladungen in einem regelmäßigen Sechseck dargestellt werden (siehe Abbildung 2) (vgl. Raith, 2006, S. 800).

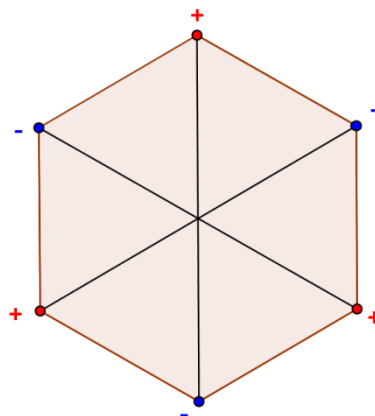


Abbildung 2: Vereinfachte Atomanordnung im α -Quarz; in Schwarz sind polare Achsen eingezeichnet

Diese vereinfachte Darstellung wird in der benutzten Quelle „Strukturzelle“ (Raith, 2006, S. 800) genannt. In den folgenden Ausführungen wird die Bezeichnung *Strukturzelle* übernommen, um Verwechslungen mit Elementarzellen oder Bravais-Einheitszellen vorzubeugen.

Der piezoelektrische Effekt ist bei Kristallen zu beobachten, die kein Symmetriezentrum besitzen. Kristalle mit dieser Eigenschaft können entweder eine oder auch mehrere polare Achsen (siehe Abbildung 2) haben, die zur Klassifikation der Piezoelektrizität wichtig sind (vgl. Bill, 2002, S. 6). Eine polare Achse zeichnet sich dadurch aus, dass ein Vertauschen ihrer Endpunkte die Strukturzelle verändern würde, genauso wie eine 180°-Drehung um eine Achse, die zur polaren Achse senkrecht steht (vgl. Raith, 2006, S. 798).

3.4.1.2. Der mechanische Spannungstensor

Bei allen Typen des *direkten piezoelektrischen Effekts* wird durch eine mechanische Spannung, die entlang einer bestimmten Richtung an Piezokristallen wirkt, eine Deformation hervorgerufen. Daraus resultiert eine Änderung der elektrischen Polarisierung, deren Betrag proportional zu der Deformation ist (vgl. Gautschi & Tichý, 1980, S. 4f.). Bevor die verschiedenen Varianten des piezoelektrischen Effekts vorgestellt werden, werden im Folgenden die Tensoren erläutert, mit denen die zugrunde liegenden Zustände der mechanischen Spannung sowie der Deformation beschrieben werden können.

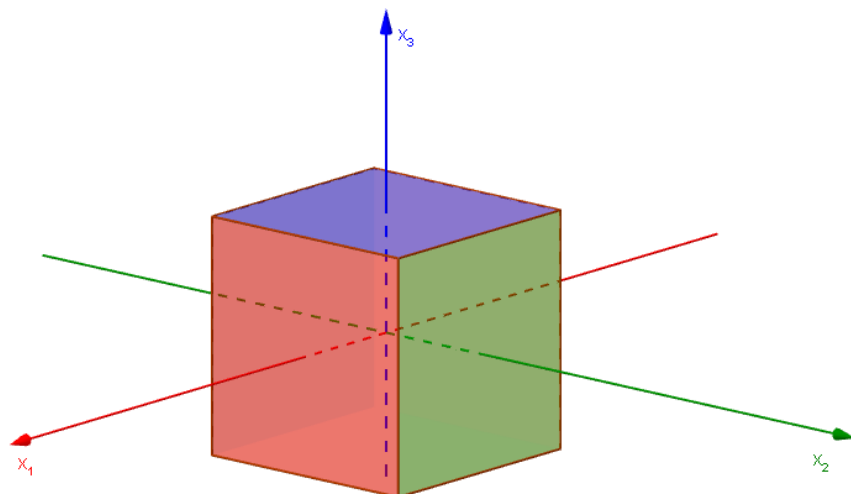


Abbildung 3: Volumenelement im kartesischen Koordinatensystem; die Farbe einer Seitenfläche entspricht der Farbe der Koordinatenachse, in dessen Richtung die Flächennormale zeigt

Die mechanischen Spannungen lassen sich als Kräfte verdeutlichen, die auf die Seitenflächen eines Volumenelements wirken.

Ein solches Volumenelement ist in Abbildung 3 in Form eines Würfels dargestellt. Es wird zwischen Kräften unterschieden, die auf die drei sichtbaren und unterschiedlich gefärbten Würfelseiten wirken. Kräfte auf die drei verdeckten Seiten sind durch Variation der Vorzeichen abgedeckt. Der gesamte Spannungszustand wird durch einen Tensor T zweiter Stufe mit den Elementen T_{ik} ausgedrückt (vgl. Gautschi & Tichý, 1980, S. 42). Der Index i steht für die Richtung entlang einer der drei Koordinatenachsen, in der die jeweilige Kraft wirkt; der Index k bezeichnet die Flächennormale der Fläche, auf die die Kraft wirkt. Auf diese Weise können sich Kräfte in alle drei Raumrichtungen auf alle drei gefärbten Flächen überlagern, und man erhält für den Gleichgewichtszustand den Spannungstensor $\vec{\vec{T}}$ in Matrixdarstellung (Gleichung (1)). Da im Gleichgewichtszustand bezüglich keiner Koordinatenachse ein Drehmoment resultiert, ist der Spannungstensor symmetrisch (vgl. Gautschi & Tichý, 1980, S. 42ff.).

$$\vec{\vec{T}} = \begin{pmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} \\ T_{12} & T_{22} & T_{23} \\ T_{13} & T_{23} & T_{33} \end{pmatrix} \text{ Vereinfachung auf Matrixindizes} = \begin{pmatrix} T_1 & T_6 & T_5 \\ T_6 & T_2 & T_4 \\ T_5 & T_4 & T_3 \end{pmatrix} \quad (1)$$

mit den Matrixeinträgen $T_{ii} \equiv T_i$, $i = 1,2,3$ und $T_{23} \equiv T_4$, $T_{13} \equiv T_5$, $T_{12} \equiv T_6$; die Einträge der auf Matrixindizes vereinfachten Matrix werden mit T_μ , $\mu = 1,2,3,4,5,6$ bezeichnet

Die Diagonalelemente T_N , $N = 1,2,3$ entsprechen demnach den *Normalspannungen* auf die drei Seitenflächen des Volumenelements, und die Nebendiagonalelemente T_4 , T_5 und T_6 den *Schub-* oder auch *Scherspannungen* (vgl. Gautschi & Tichý, 1980, S. 44).

3.4.1.3. Der Deformationstensor

Die mechanische Spannung, die auf ein Volumenelement (vgl. Abbildung 3) wirkt, verursacht eine relative Deformation. Diese wird analog zu der mechanischen Spannung in Form eines symmetrischen Tensors $\vec{\vec{S}}$ zweiter Stufe mit den Elementen S_{ij} angegeben (Gleichung (2)); (vgl. Gautschi & Tichý, 1980, S. 40). In der angegebenen Notation steht der Index i für die

Richtung entlang einer der drei Koordinatenachsen, in der das Volumenelement deformiert wird, wobei der Index j die Flächennormale der Fläche bezeichnet, auf die die Deformation wirkt.

$$\vec{S} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{12} & S_{22} & S_{23} \\ S_{13} & S_{23} & S_{33} \end{pmatrix} \text{ Vereinfachung auf Matrixindizes} = \begin{pmatrix} S_1 & \frac{1}{2}S_6 & \frac{1}{2}S_5 \\ \frac{1}{2}S_6 & S_2 & \frac{1}{2}S_4 \\ \frac{1}{2}S_5 & \frac{1}{2}S_4 & S_3 \end{pmatrix} \quad (2)$$

mit den Matrixeinträgen $S_{ii} \equiv S_i$, $i = 1,2,3$ und $2S_{23} \equiv S_4$, $2S_{13} \equiv S_5$, $2S_{12} \equiv S_6$;
die Einträge der auf Matrixindizes vereinfachten Matrix werden durch die Scheranteile S_λ , $\lambda = 1,2,3,4,5,6$ ausgedrückt

Ähnlich wie beim Spannungstensor bezeichnen die Diagonalelemente S_N , $N = 1,2,3$ die relative Deformation parallel zu den Normalspannungen T_N , und die Nebendiagonalelemente stellen die Scherungen dar. Die Scheranteile S_4 , S_5 und S_6 entsprechen den doppelten Werten der tatsächlichen Deformationskoordinaten und werden für die Matrixdarstellung halbiert (vgl. Gautschi & Tichý, 1980, S. 47).

Dem Hookeschen Gesetz folgend sind die Koordinaten des Deformationstensors für genügend kleine Deformationsgradienten proportional zu den Koordinaten des mechanischen Spannungstensors (vgl. Gautschi & Tichý, 1980, S. 45ff.):

$$T_\mu = c_{\mu\lambda} \cdot S_\lambda \quad (3)$$

Die $c_{\mu\lambda}$ sind dabei die materialabhängigen Elastizitätsmoduln.

3.4.1.4. Der longitudinale piezoelektrische Effekt

Es gibt vier Arten des *direkten piezoelektrischen Effekts*, bei dem sich durch Deformation eines piezoelektrischen Kristalls der Betrag der elektrischen Polarisation proportional zu der Deformation ändert. Den umgekehrten Fall, bei dem ein äußeres elektrisches Feld eine zu ihm proportionale mechanische Spannung im Kristall erzeugt, nennt man *reziproker piezoelektrischer Effekt* (vgl. Gautschi & Tichý, 1980, S. 4). Der reziproke piezoelektrische Effekt tritt stets als Umkehrung der Bedingungen auf. Auf diesen Effekt wird in der vorliegenden Arbeit nicht näher eingegangen.

Für den longitudinalen direkten piezoelektrischen Effekt wird im Folgenden hergeleitet, welche physikalischen Auswirkungen eine mechanische Spannung unter mikroskopischen und makroskopischen Gesichtspunkten

auf einen Piezokristall hat. Vor einer Diskussion der verbliebenen Effektypen werden die piezoelektrischen Koeffizienten zu deren Klassifikation eingeführt. Anschließend werden Methoden zur Steigerung der verwertbaren Ladungsmenge beim direkten piezoelektrischen Effekt vorgestellt.

Beim *longitudinalen direkten piezoelektrischen Effekt* bewirkt eine Normalspannung T_N parallel zu einer polaren Achse eine Deformation S_N einer piezoelektrischen Kristallstrukturzelle (vgl. Bill, 2002, S. 7), wie sie beispielhaft in Abbildung 4 dargestellt ist. Der blaue und der rote Punkt im Innern der Strukturzelle (siehe Abbildung 4) markieren den Ort der positiven (rot) und negativen (blau) Ladungsschwerpunkte.

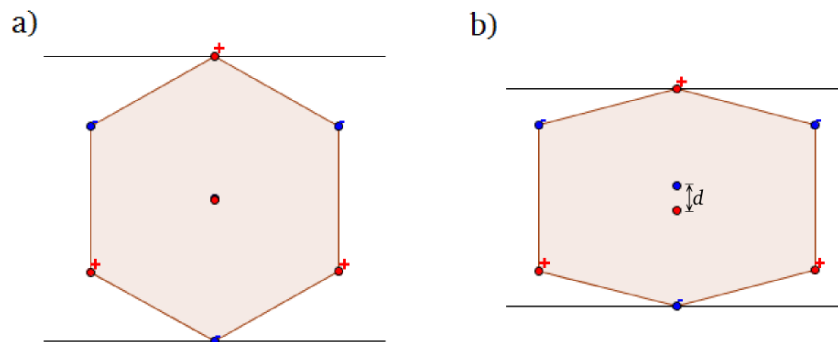


Abbildung 4: Deformation einer Strukturzelle entlang einer polaren Achse:
a) vor der Deformation; b) nach der Deformation

In Abbildung 4 ist zu erkennen, dass sich die Ladungsschwerpunkte innerhalb der Strukturzellen durch die Deformation nicht mehr am selben Ort befinden. Die Strukturzellen werden zu elektrischen Dipolen (vgl. Demtröder, 2009, S. 25). Da der Betrag p des *elektrischen Dipolmoments* \vec{p} einer Atomanordnung proportional zum Abstand d der positiven und negativen Ladungsschwerpunkte ist (vgl. Demtröder, 2009, S. 25), verhält sich der Betrag des elektrischen Dipolmoments ebenfalls proportional zur mechanischen Spannung T_N :

$$p \sim d \quad (4)$$

$$d \sim S_N \text{ (entspricht (11)); siehe Herleitung S. 28)}$$

$$S_N \sim T_N \text{ (entspricht (3))}$$

$$\rightarrow p \sim T_N. \quad (5)$$

Für vernachlässigbar kleine deformationsbedingte Dichtezunahmen des Kristalls ist der Betrag P der *Polarisation* \vec{P} des dielektrischen Kristalls proportional zum Betrag des elektrischen Dipolmoments eines einzelnen Dipols (vgl. Demtröder, 2009, S. 25) und demnach auch zur mechanischen Spannung:

$$P \sim p \quad (6)$$

$$p \sim T_N \text{ (entspricht (5))}$$

$$\rightarrow P \sim T_N \quad (7)$$

Wie in allen Dielektrika gleichen sich innerhalb des polarisierten Piezokristalls die positiven und negativen Ladungen aus (siehe gelbe Bereiche in Abbildung 5).

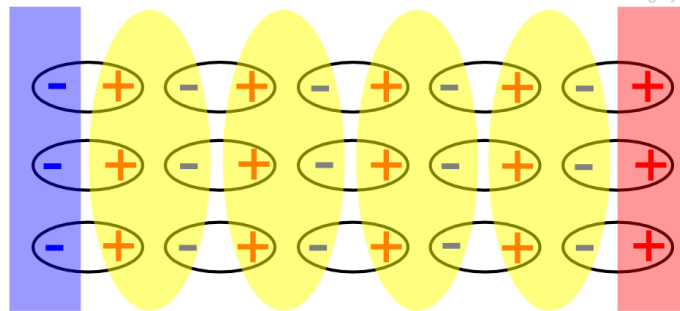


Abbildung 5: Polarisation eines Dielektrikums; die Ladungen in den gelben Bereichen neutralisieren sich gegenseitig. Im roten und im blauen Bereich bilden sich Polarisationsladungen aus

An den Oberflächen des Kristalls (siehe roter und blauer Bereich in Abbildung 5) bilden sich *Polarisations- beziehungsweise Oberflächenladungen* aus, deren *Flächenladungsdichte* σ_{pol} gleich dem Betrag der Polarisation ist (vgl. Demtröder, 2009, S. 26):

$$P = \sigma_{pol} \quad (8)$$

Herleitung von (11):

Der Betrag E des elektrischen Felds \vec{E} , welches durch die Polarisationsladungen im Dielektrikum entsteht, hängt von der Flächenladungsdichte und der Dielektrizitätskonstante ε_0 ab (vgl. Demtröder, 2009, S. 26);(siehe (9)). Daraus folgt, dass der Betrag des elektrischen Feldes proportional zum Abstand der positiven und negativen Ladungsschwerpunkte d ist:

$$E = \frac{\sigma_{pol}}{\varepsilon_0} \quad (9)$$

$$\sigma_{pol} = P \text{ (entspricht (8))}$$

$$P \sim p \text{ (entspricht (6))}$$

$$p \sim d \text{ (entspricht (4))}$$

$$\rightarrow E \sim d \quad (10)$$

Außerdem ist über den direkten piezoelektrischen Effekt bekannt, dass eine relative Deformation eines Piezokristalls ein dazu proportionales elektrisches Feld im Kristall hervorruft (vgl. Meschede, 2010, S. 340). Daraus folgt - unter Einbezug von Gleichung (10) -, dass eine relative Deformation des α -Quarzkrystals einen dazu proportionalen Abstand zwischen den ungleichnamigen Ladungsschwerpunkten in den Strukturzellen bewirkt:

$$E \sim S_N$$

$$E \sim d \text{ (entspricht (10))}$$

$$\rightarrow d \sim S_N \quad (11)$$

Bringt man nun in Analogie zu einem Kondensator Elektroden an den geladenen Oberflächen an, verteilen sich die frei beweglichen Ladungen im Metall der Elektroden durch *Influenz* um. Das geschieht so lange, bis das elektrische Feld, welches von den Oberflächenladungen erzeugt wird, kompensiert wird (vgl. Demtröder, 2009, S. 18). Daraus folgt, dass die Ladungsmenge Q , die durch die Ladungstrennung auf den äußeren Elektrodenseiten vorzufinden ist, genauso groß ist wie die Oberflächenladungsmenge des Dielektrikums (vgl. Demtröder, 2009, S. 20).

Dadurch resultiert aus (8):

$$P = \sigma_{pol} = \frac{1}{A} \cdot Q \quad (12)$$

Dabei steht A für den Flächeninhalt einer Kristallfläche, auf der die Oberflächenladungen lokalisiert sind.

Wie auch im Kondensator ist die Anzahl der Ladungen auf den äußeren Elektrodenoberflächen proportional zur elektrischen Spannung U (vgl. Demtröder, 2009, S. 20):

$$Q \sim U \quad (13)$$

Aus der vorausgegangenen Argumentation wird geschlussfolgert, dass die getrennte Ladungsmenge auf den Elektroden sowie die messbare elektrische Spannung im Fall des longitudinalen piezoelektrischen Effekts proportional zur wirkenden mechanischen Spannung sind:

$$T_N \sim P \text{ (entspricht (7))}$$

$$P \sim Q \text{ (resultiert aus (12))}$$

$$Q \sim U \text{ (entspricht (13))}$$

$$\rightarrow T_N \sim Q \quad \wedge \quad T_N \sim U$$

3.4.1.5. Die piezoelektrischen Koeffizienten

Unter der Voraussetzung eines *elektrisch und mechanisch freien Zustands* bringt der direkte piezoelektrische Effekt die einzelnen Komponenten D_i der *elektrischen Flussdichte* \vec{D} durch die *piezoelektrischen Koeffizienten* $d_{i\mu}$ gemäß dem Zusammenhang

$$D_i = d_{i\mu} \cdot T_\mu \quad (14)$$

mit den Elementen T_μ des mechanischen Spannungstensors aus Gleichung (1) in Verbindung. (vgl. Gautschi & Tichý, 1980, S. 68).

Ein Piezokristall ist *mechanisch frei*, wenn er „durch mechanische Spannung unbehindert deformiert werden kann“ (Gautschi & Tichý, 1980, S. 69). Liegt ein *elektrisch freier Zustand* vor, sind Elektronen zwischen den Abnahmeelektroden frei beweglich, sodass das elektrische Feld der Polarisationsladungen kompensiert wird ($\vec{E} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$); (vgl. Gautschi & Tichý, 1980, S.

68).

Werden die verschiedenen piezoelektrischen Koeffizienten zusammengefasst, lässt sich der Tensor \vec{d} der piezoelektrischen Koeffizienten in Matrixdarstellung schreiben (vgl. Gautschi & Tichý, 1980, S. 72):

$$\vec{d} = \begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} & d_{14} & d_{15} & d_{16} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} & d_{24} & d_{25} & d_{26} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} & d_{34} & d_{35} & d_{36} \end{pmatrix} \quad (15)$$

mit den Matrixeinträgen $d_{i\mu}, i = 1,2,3; \mu = 1,2,3,4,5,6$

Die elektrische Flussdichte in einem Dielektrikum lässt sich aus der elektrischen Feldstärke \vec{E} und der Polarisation des Dielektrikums \vec{P} durch die Gleichung

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \cdot \vec{E} + \vec{P} \quad (16)$$

mit der Dielektrizitätskonstante ε_0 berechnen (vgl. Demtröder, 2009, S.28).

In der piezoelektrischen Messtechnik wird gewöhnlich ein elektrisch freier

Zustand vorausgesetzt (vgl. Gautschi & Tichý, 1980, S. 68). Durch $\vec{E} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$

lässt sich Gleichung (16) mit Gleichung (14) zu

$$P_i = d_{i\mu} \cdot T_\mu$$

zusammenfassen.

Daran ist zu erkennen, dass der Index i der piezoelektrischen Koeffizienten angibt, in welche Richtung das Dielektrikum polarisiert wird, während an dem Index μ abzulesen ist, welche Spannungskomponente aus (1) den Effekt hervorruft.

Der longitudinale piezoelektrische Effekt wird folglich durch die Koeffizienten d_{11}, d_{22} und d_{33} beschrieben, da die elektrische Polarisation parallel zu der mechanischen Spannung entlang einer Flächennormale auftritt.

3.4.1.6. Der transversale piezoelektrische Effekt

Mit den piezoelektrischen Koeffizienten $d_{12}, d_{13}, d_{21}, d_{23}, d_{31}$ und d_{32} aus Gleichung (15) kann eine Variante des direkten piezoelektrischen Effekts beschrieben werden, bei dem eine mechanische Spannung in Richtung einer Flächennormale eine dazu senkrechte elektrische Polarisation des Kris-

talls hervorruft. Diesen Typus nennt man *transversaler direkter piezoelektrischer Effekt* (vgl. Gautschi & Tichý, 1980, S. 71).

Zu beachten ist bei diesem Typ, dass die mechanische Spannung senkrecht zu einer polaren Achse (vgl. Abbildung 2) wirkt (vgl. Bill, 2002, S. 9). Der Vorgang der Deformation wird durch die Betrachtung von Abbildung 6 anschaulich. Durch die Deformation werden die Ladungsschwerpunkte senkrecht zur Richtung der Deformation verschoben.

Analog zum longitudinalen Effekt folgt auch hier, dass die mechanische Spannung proportional zu der getrennten Ladungsmenge sowie der auftretenden elektrischen Spannung ist.

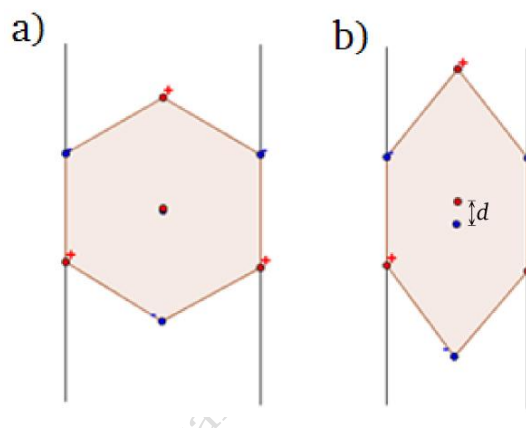


Abbildung 6: Deformation einer Strukturzelle senkrecht zu einer polaren Achse: a) vor der Deformation; b) nach der Deformation

3.4.1.7. Der piezoelektrische Schubeffekt

Für die quantitative Beschreibung des *longitudinalen Schubeffekts* sind die piezoelektrischen Koeffizienten d_{14} , d_{25} und d_{36} aus Gleichung (15) zu betrachten. Bei diesem Effekt bewirkt eine Kraft \vec{F} , die senkrecht zu der Normale einer Fläche wirkt, eine mechanische Schubspannung. Die resultierende elektrische Polarisation steht senkrecht zu der Flächennormale sowie zu der Richtung der einwirkenden Kraft (siehe Abbildung 7); (vgl. Gautschi & Tichý, 1980, S. 71).

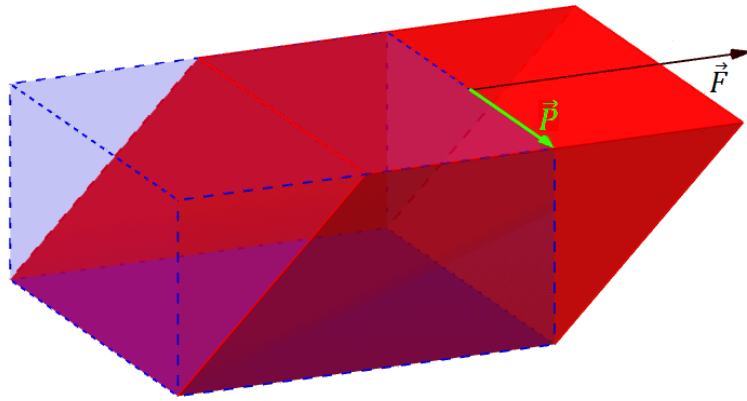


Abbildung 7: Richtung der Krafteinwirkung \vec{F} , der Deformation und der Polarisation \vec{P} beim longitudinalen Schubeffekt

Der *transversale Schubeffekt* beruht auf derselben Schubspannung wie der *longitudinale Schubeffekt* (siehe Abbildung 7). Sie unterscheiden sich dadurch, dass die elektrische Polarisation beim *transversalen Schubeffekt* parallel zu der einwirkenden Spannung ausgerichtet ist. Die entsprechenden Koeffizienten aus Gleichung (15) sind $d_{15}, d_{16}, d_{24}, d_{26}, d_{34}$ und d_{35} (vgl. Gautschi & Tichý, 1980, S. 71).

3.4.1.8. Steigerung der verwertbaren Ladungsmenge

Für reale Anwendungen des direkten piezoelektrischen Effekts spielt es eine wichtige Rolle, wie die Größe der Oberflächenladungsmenge und damit der resultierenden elektrischen Spannung im Falle einer konstant einwirkenden Kraft F erhöht werden kann. Dazu bedarf es einiger grundlegender Überlegungen, die im Folgenden vorgestellt werden.

Beim *longitudinalen piezoelektrischen Effekt* bilden sich Polarisationsladungen an den Flächen aus, auf die die Kraft wirkt. Eine Erhöhung der Ladungsausbeute kann dadurch erreicht werden, dass mehrere Kristallscheiben mechanisch in Reihe und elektrisch parallel geschaltet werden (siehe Abbildung 8); (vgl. Bill, 2002, S. 7). Die Endpunkte der Leitungen (in Abbildung 8 grün markiert) zeigen qualitativ die Polarität der verwertbaren Ladung. Dasselbe gilt für die Leitungsendpunkte in Abbildung 9.

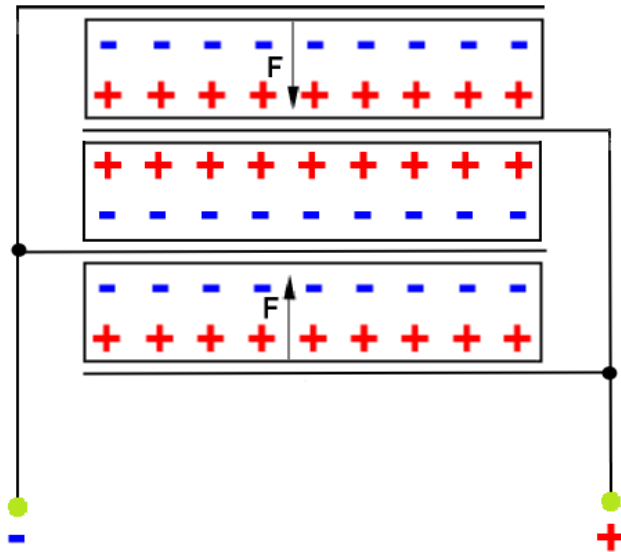


Abbildung 8: Mechanische Reihenschaltung und elektrische Parallelschaltung mehrerer Kristallscheiben; die grünen Punkte zeigen die Leitungsendpunkte zum Ladungsabgriff

Eine Vergrößerung der Querschnittsfläche A der Kristallscheiben hat keinen Einfluss auf die Ladungsausbeute, da die einwirkende Kraft pro Flächeneinheit in diesem Fall sinken würde.

Als *Oberflächenkraftdichte* ist der Betrag der eindimensionalen mechanischen Spannung T durch die Beziehung

$$T = \frac{F}{A} \quad (17)$$

gegeben (vgl. Gautschi & Tichý, 1980, S. 41).

Dementsprechend nimmt die Flächenladungsdichte σ_{pol} bei einer Vergrößerung der Fläche A ab:

$$\frac{1}{A} \sim (17) T \sim (7) P = (12) \sigma_{pol}$$

$$\rightarrow \sigma_{pol} \sim \frac{1}{A}$$

Da gemäß Gleichung (12) $Q = \sigma_{pol} \cdot A$ gilt, bleibt die Ladungsmenge bei Variation der Kristallfläche unverändert.

Im Gegensatz dazu bilden sich beim *transversalen piezoelektrischen Effekt* die Polarisationsladungen an den Flächen senkrecht zur Krafteinwirkung aus. Die Größe der Oberflächenladung kann in diesem Fall erhöht werden, wenn die Ausmaße des Kristalls in Richtung der Kraftwirkung möglichst groß und die Kristallflächen, auf die die Kräfte wirken, möglichst klein ge-

wählt werden (vgl. Bill, 2002, S.9f.). Eine mögliche Umsetzung dieser Bedingungen ist in Abbildung 9 zu sehen.

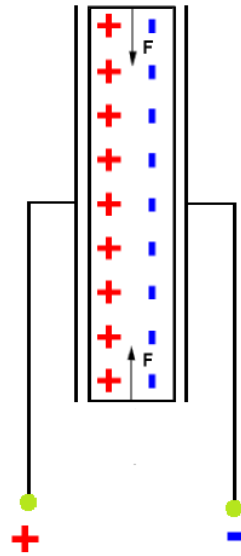


Abbildung 9: Kristall mit günstigen Ausmaßen für den transversalen piezoelektrischen Effekt; die grünen Punkte sind die Leitungsendpunkte zum Ladungsabgriff

Auch hier würde eine Vergrößerung der Fläche, auf die die Kraft F wirkt, die mechanische Spannung im Kristall und somit die elektrische Polarisierung verringern. In diesem Fall geschieht die Verringerung der Flächenladungsdichte ohne Vergrößerung der geladenen Flächen.

Werden die Ausmaße in Richtung der Krafteinwirkung erweitert, vergrößern sich die geladenen Flächen, während die Flächenladungsdichte konstant bleibt.

3.4.2. Didaktische Analyse

Im Zentrum der geplanten Unterrichtsstunde steht die Einführung des piezoelektrischen Effekts und dessen Anwendung. Die Zielgruppe stellen Physikleistungs- beziehungsweise Physikgrundkurse ab der Qualifikationsphase 1 (Q1) des achtjährigen Gymnasialsystems dar, sofern die SuS bereits Vorkenntnisse zur Elektrostatik gesammelt haben.

Der Unterrichtsgegenstand ist eine Anwendung der Elektrostatik, dessen Nutzen in vielen Bereichen des alltäglichen Lebens der SuS wiederzufinden ist. Dadurch ist er potenziell für SuS relevant und interessant.

Im Lehrplan zum Fach Physik ist der piezoelektrische Effekt im fakultativen Bereich der Q1 zu finden. Er ist dort explizit als Beispiel für „technische Anwendungen der Elektrostatik“ (Hessisches Kultusministerium, 2010, S. 29) im Leistungskurs aufgeführt. Auch für den Grundkurs sind „Technische Anwendungen der Elektrostatik“ (Hessisches Kultusministerium, 2010, S. 24) als fakultativer Inhalt im Lehrplan vorgesehen. Der piezoelektrische Effekt wird zwar nicht als Beispiel genannt, ist jedoch als wichtige Anwendung im täglichen Leben für alle SuS gewinnbringend.

Für die vorliegende Untersuchung bieten fakultative Themen, welche als „Vorschläge zur Ergänzung und Erweiterung“ (Hessisches Kultusministerium, 2010, S. 5) verstanden werden, den Vorteil, dass die meisten Physikurse diese Inhalte zum Zeitpunkt der Untersuchung noch nicht behandelt haben. Dadurch sollten Physikurse unterschiedlicher Schulen und Kurstypen keine eklatanten Unterschiede im Vorwissen bezüglich des betreffenden Themas aufweisen. Bei einem Pflichtthema hingegen können Lehrkräfte Schwerpunkte und unterschiedliche Reihenfolgen der Inhalte wählen, wodurch ungleiche Voraussetzungen vorgefunden werden können.

Im Laufe der Unterrichtsstunde lernen die SuS ein neues physikalisches Prinzip kennen. Aus der Betrachtung der Eigenschaften eines Piezokristalls heraus entwickeln die SuS ein Verständnis des piezoelektrischen Effekts, welches durch ihre eigene Auswertung von Messdaten untermauert ist. Demzufolge stehen in dieser Unterrichtsstunde die physikalischen Kompetenzen „Fachwissen“ und „Erkenntnisgewinnung“ (Kultusministerkonferenz, 2005, S. 7) im Vordergrund.

Laut Lehrplan sollten die Lerngruppen zu diesem Zeitpunkt bereits Vorkenntnisse zu Ladung, Spannung, Kondensatoren, Influenz sowie Kraft erworben haben (vgl. Hessisches Kultusministerium, 2010, S. 22, 29). Wünschenswert wären auch Kenntnisse über elektrische Dipole und elektrische Polarisation von Dielektrika.

Diese Einführungsstunde in den piezoelektrischen Effekt stellt die fachlichen Grundlagen bereit, auf denen weitere Stunden zum piezoelektrischen Effekt unmittelbar anschließen könnten. Eine mögliche Fortführung des Themas ist in Abschnitt 3.4.3 vorgestellt.

3.4.3. Methodische Analyse

Zur Behandlung des umfangreichen und kristallographisch anspruchsvollen Themas des piezoelektrischen Effekts sind einige didaktische Reduktionen von Nöten:

Zum einen haben die SuS kaum Erfahrung mit den Symmetrien und den Bezeichnungen von Kristallstrukturen, wie sie in der Festkörperphysik üblich sind. Dennoch sollen die Abläufe, die beim direkten piezoelektrischen Effekt stattfinden, an einem realen Beispiel entdeckt werden.

Auf Grund seiner Bedeutsamkeit wurde als Anschauungsbeispiel α -Quarz gewählt (siehe Abschnitt 3.4.1.1). Da die kristallographisch korrekten Begriffe für die SuS unbekannt und genaue Darstellungen der Kristallstruktur weder übersichtlich noch zielführend sind, wurde auf dem Arbeitsblatt (siehe Anhang A) ohne Umwege die vereinfachte Darstellung gewählt. Sie wird dort bewusst „vereinfachte Gitterstrukturzelle“ genannt, um von den SuS nicht als uneingeschränkt gültige Elementarzelle angesehen zu werden. Diese Strukturzelle stellt in Form eines gleichmäßigen Sechsecks ein zweidimensionales Modell derjenigen Ausschnitte aus dem Gittersystem dar, die zur qualitativen Erschließung des piezoelektrischen Effekts von Bedeutung sind (vgl. Abschnitt 3.4.1.1).

Eine weitere didaktische Reduktion ist der Verzicht auf den *piezoelektrischen Schubeffekt* (siehe Abschnitt 3.4.1.7). Dieser Effekt ist kaum anschaulich und lässt sich weniger intuitiv erschließen als der *Longitudinal-* oder der *Transversaleffekt*.

Außerdem wird auf sämtliche kristallographischen Bezeichnungen, wie zum Beispiel der *Bravais-Gitter* betroffener Kristalle, verzichtet. Ebenso werden die Tensor Darstellungen der mechanischen Spannung (siehe Abschnitt 3.4.1.2), der Deformation (siehe Abschnitt 3.4.1.3) und der piezoelektrischen Koeffizienten (vgl. Abschnitt 3.4.1.5) nicht behandelt, da die qualitative Betrachtung des Phänomens im Vordergrund der Unterrichtseinheit steht.

Insgesamt wird auch von der Betrachtung der eigentlich relevanten mechanischen Spannung abgesehen, da dieser Begriff im Lehrplan nicht berücksichtigt wird und den SuS daher nicht geläufig sein könnte. Die mechani-

sche Spannung müsste explizit wiederholt werden, was den Stundenverlauf vom eigentlichen Kern ablenkt. Stattdessen machen sich die SuS die Sachverhalte in der Stunde an Kräften klar, die auf die Gitterstrukturzellen wirken. Wirken die Kräfte auf Flächen konstanter Größe, ergibt sich dadurch kein Unterschied für die untersuchte Proportionalität. Erst wenn die räumliche Ausdehnung von Kristallen eine Rolle spielt und - eventuell in Folgestunden - Möglichkeiten zur Erhöhung der Ladungsausbeute betrachtet werden, muss das Modell in Frage gestellt werden (siehe Abschnitt 3.4.1.8).

Die Unterschiede des betrachteten α -Quarzes zum β -Quarz, an dem der piezoelektrische Effekt nicht auftritt, sollen in der Erprobungsstunde nicht explizit aufgegriffen werden, da sie für den Stundenverlauf keine weitere Rolle spielen. In der Unterrichtsstunde wird das α -Quarz daher nur als Quarz bezeichnet, um nicht vom eigentlichen Unterrichtsgegenstand abzulenken.

Zuletzt bleibt zu erwähnen, dass die Teilladungen an den Strukturzellen in allen verwendeten Visualisierungen mit gewöhnlichen Vorzeichen dargestellt werden. Korrekterweise werden Teilladungen als δ^+/δ^- dargestellt. Diese Schreibweisen sind jedoch vielen SuS nicht bekannt, spielen aber auch für das Verständnis der relevanten Abläufe keine Rolle. Aus diesem Grund wird auch in Kapitel 3.4.1 nicht näher auf die Ladungscharakteristik und die damit zusammenhängenden Bindungstypen im Quarz eingegangen. Die Tatsache, dass es sich um Teilladungen handelt, ist lediglich auf dem Arbeitsblatt erwähnt und kurz beschrieben.

Die geplante Unterrichtseinheit über den piezoelektrischen Effekt beginnt mit der Begrüßung, die mit der Erläuterung des Ablaufs der Stunde bereits einen wichtigen Aspekt des Unterrichtseinstiegs beinhaltet. Dadurch wird den SuS ein transparenter Orientierungsrahmen geschaffen, wodurch sie sich leichter und effektiver auf die bevorstehende Arbeit einstellen können (vgl. Meyer, 2011, S. 130).

Als Einstieg zeigt die Lehrkraft den SuS ein Piezofeuerzeug, wie sie es aus ihrem täglichen Umfeld kennen. In einem zweiten Schritt wird ein aus ei-

nem gleichartigen Feuerzeug entnommener Piezozünder gezeigt. Bereits durch diesen Schritt soll das Interesse des Physikkurses geweckt werden. Viele SuS wissen vermutlich nicht, wie der Zünder funktioniert. Gleichzeitig werden sich interessierte SuS bereits die Frage gestellt haben, wie ein Feuerzeug ohne Feuerstein funktioniert.

Die Funkenerzeugung des Zünders wird im Rahmen eines Demonstrationsversuchs gezeigt. Da der zu beobachtende Funke recht klein und die Lerngruppe sowie die damit verbundene räumliche Distanz zum Beobachtungsgegenstand dagegen groß ist, wird das Auslösen des Zünders mit der eingebauten Kamera des iPads gefilmt und live über den Beamer an die Leinwand projiziert. Mit Hilfe der Schutzhülle kann das iPad A-förmig und damit fast senkrecht aufgestellt werden, was eine günstige Position der Kamera für diesen Zweck erlaubt. Außerdem bietet diese Konstruktion ausreichend Schatten, um das Auslösen des Zünders ohne zusätzliche Raumverdunkelung erkennbar zu machen.

Die Kamera wird mit Hilfe der App *AirPresenter* (Swiss-Development GmbH, 2012) angesteuert. Dies hat den Vorteil, dass bei Bedarf gewisse Aspekte des Bildes, wie beispielsweise das Display des Elektrometers, per Freihandzeichnung hervorgehoben werden können. Die Funktionalität der Anwendung muss jedoch vor der Stunde im Unterrichtssaal ausprobiert werden. Es hat sich herausgestellt, dass die Bildschirmübertragung der Appinhalte von *AirPresenter* bei manchen Beamern nicht funktioniert und dadurch ein schwarzer Bildschirm angezeigt wird. Wenn ein solcher Fall auftritt, wird eine beliebige andere Kamera-App verwendet.

Das iPad nimmt an dieser Stelle die Funktion einer Dokumentenkamera ein. Alternativ ist die Verwendung einer Dokumentenkamera möglich; diese Geräte sind jedoch in vielen Schulen nicht angeschafft worden. Außerdem bietet die Verwendung des iPads gegenüber der Dokumentenkamera den Vorteil, dass das Tablet durch die drahtlose Bildübertragung variabel in beliebiger Entfernung zum Beamer platziert werden kann.

Mit diesen Mitteln soll die Fragehaltung der SuS sowie deren Interesse bezüglich des neuen Themas geweckt werden, welche laut der didaktisch-

methodischen Literatur Teilfunktionen der „Grundfunktion des Erschließens“ des Einstiegs sind (Meyer, 2011, S. 122).

Beiläufig macht die Lehrkraft auf ein aufgestelltes Warnschild für Hochspannung aufmerksam. Die Frage, ob in der Versuchsanordnung von Hochspannung ausgegangen werden kann, lenkt die SuS auf die Überlegung, dass es für eine elektrische Entladung über die Luft einer hohen Spannung bedarf.

In der anschließenden Hypothesenbildung formulieren die SuS im Lehrer-Schülergespräch Hypothesen darüber, durch welche äußere Einwirkung der Zünder eine derart hohe Spannung an dem innenliegenden Piezokristall erzeugen kann. Als Ausgangslage zeigt die Lehrkraft vor der Hypothesenformulierung die vereinfachte Gitterstrukturzelle, wie sie auch auf dem Arbeitsblatt zu finden ist (siehe Anhang A). In der gezeigten Abbildung sind jedoch keine polaren Achsen eingezeichnet, da sie zu diesem Zeitpunkt noch nicht von Bedeutung sind.

Als zusätzliche Information erklärt die Lehrkraft, dass es sich um die vereinfachte Darstellung der Gitterstrukturzelle von Quarz handelt, und dass Quarz nur ein Beispiel für einen Piezokristall ist. Welches piezoelektrische Material sich im speziell vorgeführten Zünder befindet, kann vor Ort nicht ermittelt werden und ist für die vorliegenden Zwecke irrelevant.

Das Bild der Strukturzelle wird auf dem iPad in Verbindung mit dem Beamer in der App *Notability* (Ginger Labs, Inc., 2014) gezeigt. Diese App bietet den Vorteil, dass mit ihr sowohl Bild- als auch Textmaterial sowie Freihandzeichnungen dargestellt und editiert werden können. Durch dieses Verfahren können in einem einzigen Dokument sämtliche Visualisierungsmittel, Texte und Mitschriften gesammelt werden, die im Laufe der Unterrichtsstunde erstellt und verwendet werden. Diese Dokumente können der Lerngruppe über Moodleplattformen oder ähnliche Onlineangebote zugänglich gemacht werden, wodurch ein Nachschlagen zur Wiederholung oder zur Prüfungsvorbereitung erleichtert wird.

Die Hypothesen, die von den SuS genannt werden, notiert die Lehrkraft handschriftlich mit Hilfe eines Eingabestifts in *Notability*. Bei der Verwendung des iPads für handschriftliche Notizen bietet es sich an, das Arbeitsge-

rät auf einen möglichst stabilen Notenständer zu stellen. Dadurch muss es nicht festgehalten werden, was der Lehrkraft mehr Bewegungsfreiheit verschafft. Zudem muss das iPad zum Schreiben nicht auf dem Lehrerpult deponiert werden, was die Schülernähe bei spontanen Mitschriften durch zwangsläufiges Abwenden der Lehrkraft stören würde. Eine andere Variante für Freihandmitschriften bietet das Festhalten des iPads mit dem freien Arm. Im Vergleich zum Einsatz eines Notenständers muss dabei keine unbequeme gebückte Haltung eingenommen werden.

Alternativ wäre ein herkömmliches Tafelbild möglich. Falls dieses für die Lerngruppe zugänglich gemacht werden sollte, könnte es zum Beispiel mit Hilfe des iPads fotografiert werden. Die Variante, die Notizen direkt in *Notability* aufzuzeichnen, spart allerdings einen weiteren Schritt der Digitalisierung durch Fotografieren ein, weshalb schließlich diese Möglichkeit gewählt wurde.

In der Hypothesenprüfung soll festgestellt werden, wie die Spannung an Piezokristallen mit der darauf einwirkenden Kraft zusammenhängt. Dazu wird in einem Demonstrationsexperiment ein Piezoelement nacheinander mit unterschiedlich schweren Massestücken bekannter Masse beschwert. Der Piezokristall aus dem Bestand der TU Darmstadt, der in allen Unterrichtsstunden in der Hypothesenprüfung verwendet wird, ist in Abbildung 10 abgebildet. Da der Druck auf dieselben Kristallflächen ausgeübt wird, an denen die Elektroden zur Ladungsabnahme angebracht sind, ist in Abbildung 10 zu erkennen, dass bei dem Experiment der *longitudinale direkte piezoelektrische Effekt* ausgenutzt wird (vgl. Kapitel 3.4.1).

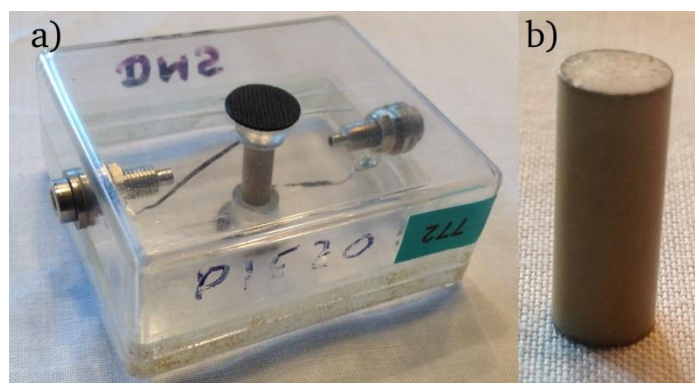


Abbildung 10: Piezokristall für den Versuch der Hypothesenprüfung: a) im Kunststoffgehäuse zur Kompression, mit Buchsen zur Ladungsabnahme; b) ohne Kunststoffgehäuse, mit angebrachten Elektroden

Nachdem der Versuch gezeigt wurde, zeichnen die SuS die Versuchsskizze in ihr Heft. Dabei können sich die SuS an der Skizze orientieren, die innerhalb des *Notabilty*-dokuments gezeigt wird (siehe Abbildung 11).

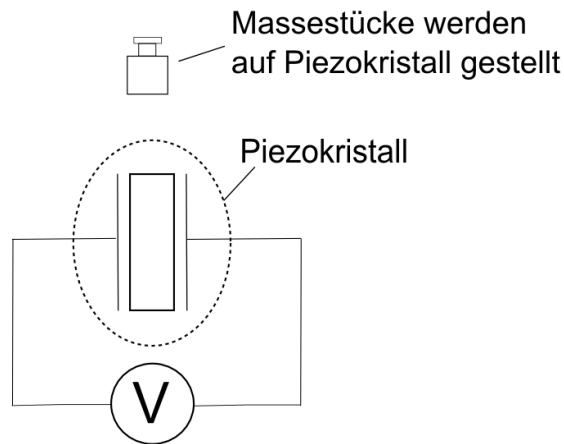


Abbildung 11: Versuchsskizze der Hypothesenprüfung

Zur Auswertung des Versuchs tragen die SuS in Partnerarbeit die gemeinsam gefundenen Messwerte in einem Spannung-Gewichtskraft-Graphen auf. Dadurch sollen die Schülerteams durch Anlegen einer Ausgleichsgeraden die Proportionalität $U \sim F$ finden. Dabei stoßen die SuS auf Probleme, wenn sie in der Skalierung von Koordinatenachsen, der Konstruktion von Ausgleichsgeraden und der damit verbundenen Interpretation von Proportionalität nicht geübt sind.

Die Spannung am Piezoelement wird mit Hilfe eines Elektrometers (*PASCO Basic Electrometer*; PASCO, 2012) gemessen. Damit die Messresultate für die Lerngruppe nachvollziehbar sind, wird die Anzeige des Elektrometers kontinuierlich von der Kamera des iPads gefilmt und über den Beamer gezeigt. Auch hier wird die App *AirPresenter* verwendet. Um das iPad sicher und waagrecht über der Elektrometeranzeige zu positionieren, legt man das Tablet auf einen Klotz, welcher neben dem Elektrometer platziert wird. Zur besseren Übersichtlichkeit werden die Messwertpaare von einem SoS an der Tafel notiert. Ein weiterer SoS liest die Massen vor, mit denen die Massestücke beschriftet sind und diktiert die Messwerte, die der erstgenannte Assistent an die Tafel schreiben soll.

Alternativ bietet das iPad auch die Möglichkeit, mit Hilfe des *PASPORT Air-Link 2 Bluetooth Interface* (PASCO) drahtlos Messdaten an das iPad zu sen-

den und mit Hilfe der App *SPARKvue HD* (PASCO scientific, 2014) auszuwerten. Dazu kann eine Vielzahl von Sensoren der Firma PASCO verwendet werden. Für die Spannungsmessung am Piezoelement hat diese Variante in der Vorbereitung nicht aussagekräftig funktioniert, da die wenigen messbaren Ladungen durch den geringen Innenwiderstand des Sensors zu schnell ausgeglichen werden.

Zudem ist es möglich, das Signal des verwendeten PASCO-Elektrometers an das Bluetooth Interface auszugeben. Diese Variante hat in einem Test während der Vorbereitungsphase gut funktioniert. Dabei erwies sie sich jedoch als ungünstig, da die Ausgabespannung des Elektrometers auf 10V begrenzt ist und alle Werte relativ zu dieser Grenze skaliert werden (vgl. PASCO, 2012, S. 6). Die erwartete Proportionalität ist zwar gut zu erkennen, jedoch misst der Experimentator im Vergleich zu den Spannungen auf der Elektrometeranzeige gestauchte Werte. Die SuS, die in den vorderen Reihen sitzen sowie die assistierenden SuS sehen beide Anzeigen, wodurch die Aussagekraft der uneinheitlichen Werte zunächst unklar wäre. Eine eingehende Thematisierung der Messschaltung soll jedoch nicht im Vordergrund der Unterrichtseinheit stehen.

Für eine erste Ergebnissicherung erläutert eine Schülergruppe, die während der Arbeitsphase ausgewählt wurde, ihre Arbeitsergebnisse. Zur Visualisierung bindet die Lehrkraft ein Foto der betreffenden Schülerarbeit in das *Notability*-dokument ein, sodass die Präsentatoren ihr eigenes Material zur Verdeutlichung verwenden können. Diese Phase läuft im Schüler-Schülergespräch ab. Mögliche Fragen oder Verständnisprobleme werden von der präsentierenden Gruppe moderiert und diskutiert. Die Lehrkraft hält sich in dieser Phase im Hintergrund.

Die App *Notability* bietet bei der besagten Anwendung den Vorteil, dass die Fotografie der Arbeitsergebnisse vergrößert werden kann, ohne dass das Bild eine zu große Fläche im eigentlichen Dokument einnehmen muss. Die Beameransicht folgt der Vergrößerung, was nicht bei allen Notations-Apps der Fall ist. Ziel dieser Phase ist die Erkenntnis der Proportionalität von aufgewendeter Kraft F zu gemessener Spannung U .

Die Erarbeitung der schematischen Abläufe innerhalb des Kristalls folgt dem „exemplarischen Verfahren“ (Wagenschein, 1992, S. 31). Dementsprechend macht sich die Lerngruppe das Phänomen des direkten piezoelektrischen Effekts ausschließlich am Beispiel der Struktur des α -Quarzkristalls klar. Dadurch soll keine Beschränkung stattfinden, sondern aus dem Spezialfall induktiv Gesetzmäßigkeiten gefunden werden, die den Allgemeinfall greifbar machen (vgl. Wagenschein, 1992, S. 33).

In der Erarbeitungsphase bearbeitet die Lerngruppe in Kleingruppen zu 3 bis 4 SuS das Arbeitsblatt (siehe Anhang A). Durch das Anleiten des Arbeitsblatts und die Diskussionen innerhalb der Kleingruppen sollen die SuS am Beispiel des α -Quarzgitters erkennen, welche Abläufe in den Strukturzellen zu Polarisationsladungen und der damit verbundenen messbaren Spannung führen.

Vorwissensbasierte Probleme könnten auftreten, wenn SuS der Begriff der Elektronegativität und den damit verbundenen Teilladungen weder aus dem Physik- noch aus dem Chemieunterricht bekannt ist. Auch das Erkennen der Polarisation von belasteten Strukturzellen ist Teil der Erarbeitungsphase, wodurch mangelnde Kenntnis über elektrische Dipole und Polarisation von Dielektrika den geplanten Stundenablauf verzögern kann.

Um Problemen bei der Konstruktion von geometrischen Schwerpunkten in Dreiecken vorzubeugen, stellt die Lehrkraft die Frage, wie ein solcher Schwerpunkt konstruiert wird. Zur Visualisierung der entsprechenden Schülerantworten wird eine Abbildung gezeigt, welches den Schnitt von Seitenhalbierenden in einem Dreieck zeigt (siehe Abbildung 12). Dieses Bild wird bereits vor der Unterrichtsstunde in die *Notability*-datei eingebunden und kann den SuS dementsprechend schnell gezeigt werden.

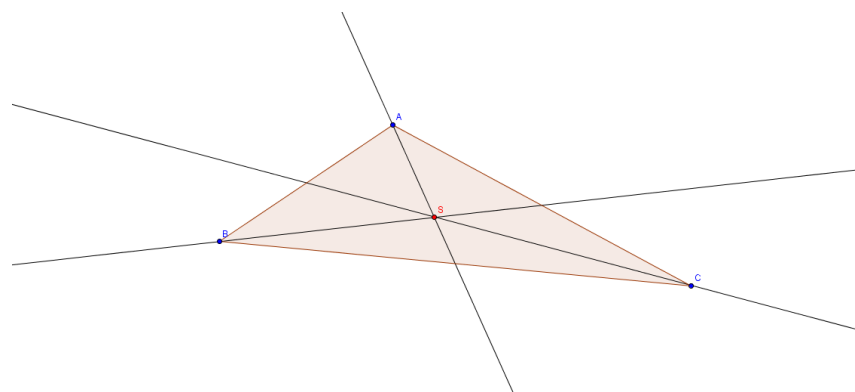


Abbildung 12: Visualisierung der Schwerpunktkonstruktion eines Dreiecks

Die Folgen der Deformation beim longitudinalen und transversalen piezoelektrischen Effekt sind nach der Bearbeitung des Arbeitsblatts wegen ihrer Komplexität sicherlich noch nicht von allen SuS gänzlich verstanden.

Um die Inhalte zu sichern, zeigt die Lehrkraft in der zweiten Ergebnissicherungsphase zu beiden Effekttypen gemäß den Schülererläuterungen Animationen (siehe Abbildung 14 & Abbildung 13), die die Abläufe schematisch darstellen. Diese Animationen sind mit der App *GeoGebra* (Internationales GeoGebra Institut, 2013) darstellbar und wurden ursprünglich mit dem Programm *GeoGebra 5.0* (Internationales GeoGebra Institut, 2014) am Computer erstellt. Die App reagiert jedoch im Navigationsbereich beim Wechsel zwischen den einzelnen Animationen relativ langsam, wodurch der Unterrichtsfluss beeinträchtigt wird.

Eine bessere Methode ergibt sich durch den Export eines dynamischen Arbeitsblatts in der Computerversion von *GeoGebra*. Dadurch lassen sich HTML-Dateien der Animationen erstellen. Die *GeoGebra*version 5.0 ermöglicht die Konvertierung ausschließlich in Kombination mit dem Hochladen des Arbeitsblatts auf *GeoGebraTube* (Internationales GeoGebra Institut), der Onlineplattform von *GeoGebra* zum Austausch von Materialien. Das dynamische Arbeitsblatt kann von der besagten Plattform auf das iPad heruntergeladen und in der App *GoodReader* (Selukoff, 2014) dargestellt werden. Diese App bietet gegenüber der Darstellung in der App *GeoGebra* den Vorteil, dass die einzelnen Animationen in eigenen Reitern geöffnet sein können. Somit kann in wesentlich kürzerer Zeit zwischen den Animationen gewechselt werden.

Seit dem Update der App *GeoGebra* auf Version 5.0.46 läuft die App zwar flüssiger, allerdings ist kein Offlinezugriff auf gespeicherte Dateien mehr möglich. Dadurch ist die App für den Schulgebrauch nicht zu empfehlen, wenn kein Internetzugriff per WLAN zur Verfügung steht.

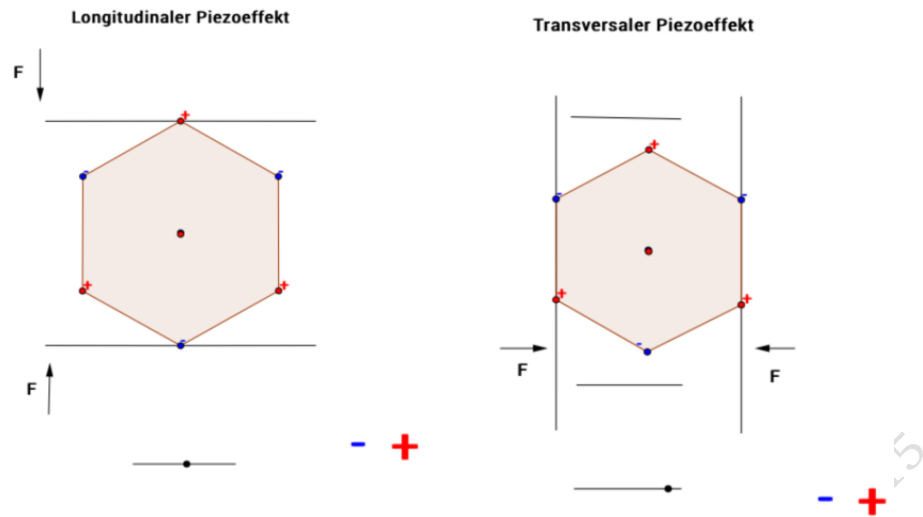


Abbildung 14: Animation des longitudinalen piezoelektrischen Effekts; Ausschnitt eines Screenshots aus *GeoGebra 5.0*

Abbildung 13: Animation des transversalen piezoelektrischen Effekts; Ausschnitt eines Screenshots aus *GeoGebra 5.0*

In den Animationen (siehe Abbildung 14 & Abbildung 13) kann die Deformation bei zunehmender Krafteinwirkung mit Hilfe von Schieberegler hervorgehoben und die Verschiebung der Ladungsschwerpunkte beobachtet werden. Vorbereitete Ladungsvorzeichen können an passende Orte geschoben werden.

Zusammenfassend wird an dieser Stelle der Unterrichtsstunde gemeinsam mit den SuS ein Merksatz formuliert und in *Notability* notiert. Da in verschiedenen Gruppen mit unterschiedlichem Leistungsniveau und unterschiedlichen Akzentsetzungen gearbeitet wird, ist diese Phase der Ergänzung und der Dokumentation elementar wichtig (vgl. Meyer, 2011, S. 163). Die Lehrkraft muss darauf achten, dass die folgenden Punkte in dem Merksatz implementiert sind:

- Die Zellen werden durch Deformation polarisiert.
- Innerhalb des Materials gleichen sich die Ladungen aus.
- An den Kristalloberflächen resultieren Oberflächenladungen.
- In Analogie zum Kondensator gilt $Q \sim U$.
- In Kombination mit der Erkenntnis aus Sicherung 1 gilt $Q \sim U \sim F$.
- Zur Polarisation werden polare Achsen benötigt.

Die Phase der Dokumentation findet im Lehrer-Schülergespräch statt.

Je nach Vorankommen und Vorwissenstand der Lerngruppe ist an dieser Stelle ein alternativer Ausstieg in der Stundendurchführung möglich.

Im abschließenden Ausblick werden in dem bestehenden *Notability*-dokument nacheinander drei Fotos (Abbildung 15 & Abbildung 16 & Abbildung 17) von Alltagsgegenständen gezeigt, in denen der piezoelektrische Effekt ausgenutzt wird. Im Lehrer-Schülergespräch wird an dieser Stelle angesprochen, was die jeweilige Anwendung mit dem Unterrichtsgegenstand zu tun hat.



Abbildung 15: Plattenspieler; Tonabnehmer können piezoelektrisch arbeiten



Abbildung 16: Quarzuhr; der Taktgeber besteht aus einem schwingenden Quarzkristall



Abbildung 17: Spiegelreflexkamera; der Autofokus wird durch einen piezoelektrisch arbeitenden Ultraschallmotor angetrieben

Im geplanten Verlauf der Unterrichtsstunde sind verschiedene Möglichkeiten zur Binnendifferenzierung zu finden:

Bei der Hypothesenprüfung tragen die SuS in Partnerarbeit die gemeinsam erfassten Messwerte in einem Spannung-Gewichtskraft-Graphen auf. Die gewählte Partnerarbeit bietet den Teammitgliedern die Möglichkeit, sich in ihren Auswertungsfähigkeiten zu ergänzen. So kann der vermeintlich

schwächere Partner vom stärkeren profitieren, während der vermeintlich Stärkere durch seine Erklärungen sein eigenes Verständnis hinterfragt und festigt. Besonders schnelle Teams, die die Auswertung ohne größere Schwierigkeiten bewältigen, bekommen den Auftrag, die Präsentation ihrer Resultate zu planen, um sie in der Sicherungsphase den restlichen SuS des Kurses anschaulich zu präsentieren. Dadurch wird die Leistung der besonders schnellen SuS anerkannt und gewürdigt.

Des Weiteren erhält der Kurs in der Erarbeitungsphase den Auftrag, mindestens Aufgabe 1 und Aufgabe 2 des Arbeitsblattes zu bearbeiten. Aufgabe 3 ist auf Grundlage von Vermutungen und Begründungen zu beantworten und bietet somit eine Zusatzaufgabe für schnelle Gruppen. In dieser Aufgabe können Diskussionen und gemeinsame Theorien durch unterschiedliche Vermutungen entstehen, die in der folgenden Sicherungsphase von der Lehrkraft aufgegriffen werden können.

Nach dieser Einführungsstunde in die grundlegenden Prinzipien der Piezoelektrizität sind weitere Einheiten zu deren Vertiefung denkbar. In den Folgestunden könnte es um die Schaltung und geometrische Optimierung piezoelektrischer Elemente gehen und inwiefern dadurch die Ladungsausbeute manipuliert werden kann (vgl. Kapitel 3.4.1.8). Außerdem könnte der bisher nur kurz angesprochene *inverse piezoelektrische Effekt*, auch unter Einbezug geeigneter Experimente, erneut aufgegriffen werden. Wie in der Einführungsstunde berücksichtigt, sind bei allen Typen des piezoelektrischen Effekts technische Anwendungsmöglichkeiten ein wesentlicher Bestandteil dessen, was den SuS vermittelt werden sollte.

Aus den praktischen Erkenntnissen der ersten Durchführungen stellten sich für die Studien- als auch für die Kontrollgruppe einige methodische Veränderungen als sinnvoll heraus, um den SuS die Erschließung des Unterrichtsgegenstands zu erleichtern (vgl. Kapitel 3.6.3). Diese Veränderungen sind im Folgenden aufgeführt:

Das geplante Minimalziel lässt ein Stundenende zu, ohne dass den SuS die leicht erkennbare alltägliche Relevanz des piezoelektrischen Effekts ersicht-

lich wurde. Demensprechend wurde das Minimalziel verändert, sodass am Ende der Unterrichtsstunde mindestens eine Abbildung der technischen Anwendungen vorgeführt und angesprochen wird.

In vielen Schulen sind nicht ausreichend viele Massestücke im benötigten Massenbereich vorhanden, um eine aussagekräftige Messreihe durchführen zu können. Mit Hilfe von unterschiedlich befüllten Wasserflaschen können Messwerte beliebiger Anzahl aufgenommen werden.

In der ursprünglichen Version der Animationen des longitudinalen und des transversalen piezoelektrischen Effekts (siehe Abbildung 14 & Abbildung 13) behalten die Kraftpfeile bei der Veränderung des Betrags der einwirkenden Kraft ihre Länge bei. Die Länge der Kraftpfeile ändert sich in den optimierten Animationen mit der Größe der Krafteinwirkung.

Nach der Durchführung der ersten Unterrichtsstunden hat sich eine Darstellung der Strukturzellen im polarisierten Kristall als hilfreich erwiesen, da sich nicht alle SuS diesen Zustand vorstellen konnten. Als Optimierung hat es sich als vorteilhaft herausgestellt, in der Ergebnissicherung 2 das Bild zu zeigen, welches in Abbildung 18 zu sehen ist.

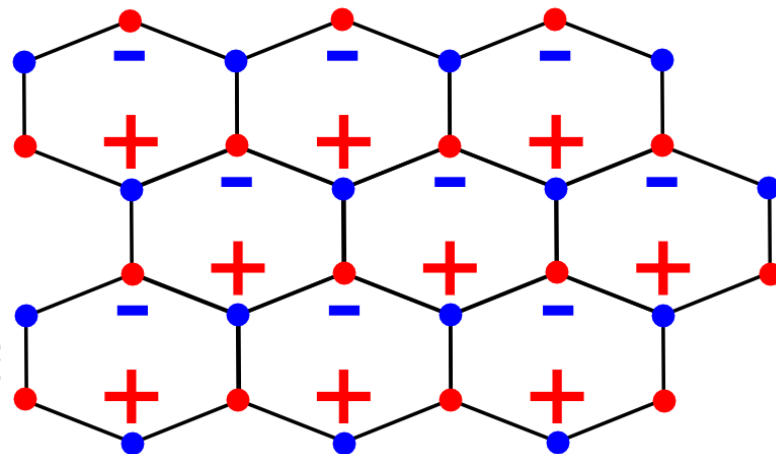


Abbildung 18: Strukturzellen im polarisierten Kristall

Außerdem stellte sich in der Erprobung heraus, dass die Funktion eines Ultraschallmotors im Zusammenhang mit einer Spiegelreflexkamera (Abbildung 17) zu komplex für den vorgesehenen Modus der kurzen verbalen Beschreibung der Lehrkraft ist. Diese Anwendung wurde daraufhin in den Folgestunden weggelassen.

3.4.4. Tabellarischer Verlaufsplan

Zeit	Phase	Lehrerverhalten (L)	Schülerverhalten (SuS)	Sozialform	Medium	Kommentar
2min	Begrüßung	Begrüßt SuS, stellt sich und den Ablauf der Stunde vor	Begrüßen L, stellen gegebenenfalls Fragen	L-S-Gespräch		
3min	Einstieg	Zeigt den Funkschlag des Piezozünders aus Feuerzeug	Beobachten Versuch	Demonstrationsversuch	iPad (AirPresenter), Piezofeuerzeug, Piezozünder	
5min	Hypothesenbildung	Stellt Quarzstruktur vor, notiert Hypothesen zu Auslösecharakteristik	Schildern ihre Hypothesen, wodurch die Spannung so hoch werden kann	L-S-Gespräch	iPad (Notability)	Quarz nur als Beispiel eines Piezoelektrischen Kristalls
14min	Hypothesenprüfung	Zeigt Versuchsskizze, führt Versuch vor, steht für Hilfestellung zur Verfügung	Notieren Skizze und Messwerte, tragen in U-F _G -Graph auf	Demonstrationsversuch, Partnerarbeit	iPad (AirPresenter, Notability), Tafel	Assistent (SoS) dokumentiert Messwerte an der Tafel
5min	Sicherung 1	Zeigt SuS-Ergebnis, notiert Erkenntnis als Merksatz	Erklären, diskutieren ihre Resultate	S-S-Gespräch	iPad (Notability)	Erkenntnis: Spannung proportional zur aufgewandten Kraft
8min	Erarbeitung	Teilt AB aus, steht für Hilfestellung zur Verfügung	Bearbeiten Arbeitsblatt	Kleingruppenarbeit	Arbeitsblatt	SuS erarbeiten sich die Prinzipien des longitudinalen und transversalen direkten Piezoeffekts
5min	Sicherung 2	Zeigt gemäß SuS-Erklärungen die Animationen, notiert Merksatz	Erklärungen/diskutieren ihre Erkenntnisse, formulieren Merksatz	L-S-Gespräch	iPad (GoodReader, Notability)	In Merksatz: Polarisation der Zelle durch Deformation, Oberflächenladung, Analogie zu Kondensator Q ~ U ~ F, Notwendigkeit polarer Achse
Minimalziel						
3min	Ausblick	Präsentiert Anwendungen aus Alltag und Technik, die auf Piezoeffekt beruhen	Verfolgen Präsentation, stellen Vermutungen darüber an, wie die Anwendung funktioniert	L-S-Gespräch	iPad (Notability)	Verknüpfung von Alltagsgegenständen mit neu entdeckten Zusammenhängen
Maximalziel						

Tabelle 1: Tabellarischer Unterrichtsverlauf der Stunde mit iPad-Einsatz

3.5. Die Stunde ohne iPad-Einsatz - Kontrollgruppe

Die Unterrichtsstunde, die in den Kursen der Kontrollgruppe gehalten werden, soll sich, wie in Kapitel 3.1 bereits begründet, in möglichst wenigen Punkten von der Stunde in der Studiengruppe unterscheiden. Eventuelle Unterschiede zwischen den beiden Gruppen sollen auf den Einsatz oder die Abwesenheit des Tablet-PCs als Arbeitsgerät zurückzuführen sein.

Aus diesem Grund wird derselbe Unterrichtsentwurf verwendet wie in Kapitel 3.4.

In diesem Kapitel werden die Unterschiede zu der Unterrichtsstunde in der Studiengruppe (siehe Kapitel 3.4) dargestellt. Der Unterrichtsgegenstand sowie die didaktischen Überlegungen unterscheiden sich nicht von der Beschreibung in der Studiengruppe. Daher wird auf eine erneute Sachanalyse und didaktische Analyse verzichtet.

Entscheidend für diese Unterrichtsstunde sind die Besonderheiten, die sich durch die Umstrukturierung des Einsatzes elektronischer Medien ergeben. Kapitel 3.5.1 gibt einen Überblick über die veränderte methodische Situation. Der zugehörige tabellarische Verlaufsplan ist in Tabelle 2 dargestellt.

3.5.1. Methodische Anpassungen

Zu Beginn der Unterrichtsstunde wird im Rahmen des Einstiegs die Funkenenerzeugung an einem Piezozünder gezeigt. Da dieser von den Tischreihen kaum zu sehen ist, bittet die Lehrkraft die SuS, an den Lehrertisch zu kommen, um dort den Effekt gemeinsam zu beobachten. Dazu muss der Raum abgedunkelt werden, da der Funke des Piezozünders ansonsten schlecht zu sehen ist. Alternativ kann auch eine Dokumentenkamera verwendet werden, um das Auslösen des Zünders zu demonstrieren. In vielen Schulen steht standardmäßig keine Dokumentenkamera zur Verfügung. Daher wird die gewählte Visualisierungsweise zwischen den einzelnen Schulen variiert.

In der Phase der Hypothesenbildung wird dasselbe Bild der Gitterstrukturzelle wie in der Unterrichtsstunde der Studiengruppe gezeigt. Das besagte Bild wird allerdings nicht in einem fortlaufenden, die ganze Unterrichtsstunde erfassenden Dokument gezeigt, sondern wird in einem beliebigen

Bildergalerieprogramm auf einem Laptop geöffnet. Der Bildschirminhalt des Laptops wird mit Hilfe eines VGA-Kabels an den Beamer übertragen. Auf dieselbe Weise wird die Versuchsskizze in der Hypothesenprüfung, die Visualisierung der geometrischen Konstruktion des Schwerpunkts eines Dreiecks in der Erarbeitungsphase sowie die Bilder der technischen Anwendungen des piezoelektrischen Effekts als Ausblick in dieser Stunde dargestellt.

In der zweiten Ergebnissicherung werden die gleichen Animationen zur Visualisierung der Verschiebung der Ladungsschwerpunkte verwendet wie in der Unterrichtsstunde der Studiengruppe. Anstelle mit der App *GeoGebra* werden die Animationen mit Hilfe des Programms *GeoGebra 5.0* (vgl. Internationales GeoGebra Institut, 2014) für Windows gezeigt.

Es bietet sich an, bereits vor Stundenbeginn alle zu verwendenden Dateien und Bilder auf dem Laptop geöffnet zu haben. So kann in der Unterrichtsstunde effizient zwischen den Anschauungsobjekten gewechselt werden.

Sämtliche Mitschriften der Stunde, welche der Studiengruppe in der App *Notability* präsentiert werden, werden in der Kontrollgruppe von der Lehrkraft an der Tafel notiert. Dies betrifft zum einen die Schülerhypothesen zur Auslösecharakteristik des Piezozünders; zum anderen werden die Merksätze der Sicherungsphasen 1 und 2 auf diese Weise dokumentiert.

Falls in der jeweiligen Schule keine Dokumentenkamera vorhanden ist, können Fotografien der Schülerlösungen nicht ohne weiteres in der ersten Ergebnissicherung gezeigt werden, um die Proportionalität von Kraft und Spannung zu begründen. Eine Option, den Graphen dennoch zu visualisieren, stellt die Möglichkeit dar, ihn von einer Schülergruppe an die Tafel zeichnen zu lassen. Diese Variante ist jedoch nicht besonders effizient, da das Einzeichnen von Daten an der großflächigen Tafel für ungeübte SuS eine größere Schwierigkeit bedeuten kann. Dadurch würde die Phase länger dauern, als der Nutzen rechtfertigen würde.

Da es sich nur um wenige Messwerte handelt, die in keiner ungewöhnlichen Größenordnung liegen, sollte die eigenständige graphische Darstellung der Werte keine größeren Probleme für die Schülerteams darstellen.

In der Ergebnissicherung 1 wird von den SuS daher lediglich der Verlauf der Datenpunkte und der Ausgleichskurve in Worten beschrieben.

3.5.2. Tabellarischer Verlaufsplan

Zeit	Phase	Lehrerverhalten (L)	Schülerverhalten (SuS)	Sozialform	Medium	Kommentar
2min	Begrüßung	Begrüßt SuS, stellt sich und den Ablauf der Stunde vor	Begrüßen L, stellen gegebenenfalls Fragen	L-S-Gespräch		
3min	Einstieg	Zeigt den Funkschlag des Piezozünders aus Feuerzeug	Kommen an Lehrerpult, Beobachten Versuch	Demonstrationsversuch	Piezofeuerzeug, Piezozünder	
5min	Hypothesenbildung	Stellt Quarzstruktur vor, notiert Hypothesen zu Auslösecharakteristik	Schildern ihre Hypothesen, wodurch die Spannung so hoch werden kann	L-S-Gespräch	Laptop, Tafel	Quarz nur als Beispiel eines Piezoelektrischen Kristalls
14min	Hypothesenprüfung	Zeigt Versuchsskizze, führt Versuch vor, steht für Hilfestellung zur Verfügung	Notieren Skizze und Messwerte, tragen in U-F _g -Graph auf	Demonstrationsversuch, Partnerarbeit	Laptop, Tafel	Assistent (SoS) liest laut die Messwerte ab, ein zweiter notiert an der Tafel
5min	Sicherung 1	Frägt nach SuS-Ergebnis, notiert Erkenntnis als Merksatz	Erklären, diskutieren ihre Resultate	S-S-Gespräch	Tafel, Dokumentenkamera	Erkenntnis: Spannung proportional zur aufgewandten Kraft, Graph wird nicht vorgeführt
8min	Erarbeitung	Teilt AB aus, steht für Hilfestellung zur Verfügung	Bearbeiten Arbeitsblatt	Kleingruppenarbeit	Arbeitsblatt	SuS erarbeiten sich die Prinzipien des longitudinalen und transversalen direkten Piezoeffekts
5min	Sicherung 2	Zeigt gemäß SuS-Erklärungen die Animationen, notiert Merksatz	Erklärungen/diskutieren ihre Erkenntnisse, formulieren Merksatz	L-S-Gespräch	Laptop (GeoGebra), Tafel	In Merksatz: Polarisation der Zelle durch Deformation, Oberflächenladung, Analogie zu Kondensator $Q \sim U \sim F$, Notwendigkeit polarer Achse
Minimalziel						
3min	Ausblick	Präsentiert Anwendungen aus Alltag und Technik, die auf Piezoeffekt beruhen	Verfolgen Präsentation, stellen Vermutungen darüber an, wie die Anwendung funktioniert	L-S-Gespräch	Laptop	Verknüpfung von Alltagsgegenständen mit neu entdeckten Zusammenhängen
Maximalziel						

Tabelle 2: Tabellarischer Unterrichtsverlauf der Stunde ohne iPad-Einsatz

3.6. Die Stichprobe

3.6.1. Überblick über die Lerngruppen

Tabelle 3 gibt einen Überblick darüber, wie die unterschiedlichen Lerngruppen der Gesamtstichprobe aufgebaut sind und wann sie vom Autor besucht wurden. Außerdem ist in der Darstellung bereits die Einteilung der Kurse in Studien- und Kontrollgruppe zu entnehmen. Einzelheiten zu den unterschiedlichen Kursen sind in Kapitel 3.6.2 zu finden.

Die in Tabelle 3 verwendeten Abkürzungen sind dem Abkürzungsverzeichnis zu entnehmen.

Wissenschaftliche Hausarbeit von Thomas Arnold 2014/15

Gruppe	Schule	Schulform	Lehrkraft/ Kurs	Kurstyp	Anzahl SuS	Termin Hospitation	Termin Hospitation	Termin Erhebung
SG	1	Gym	1	GK-Q1	15	Do, 27.11.2014 7:45-9:20	Di, 2.12.2014 13:30-14:15	Do, 18.12.2014 7:45-9:20
KG	2	Gym	2	LK-Q1	6	Mi, 26.11.2014 13:15-14:00	Fr, 28.11.2014 7:50-9:20	Fr, 5.12.2014 7:50-9:20
SG	3	Gym	3	LK-Q1	11	Mi, 26.11.2014 9:40-11:15	Fr, 28.11.2014 10:30-12:15	Mi, 3.12.2014 9:40-11:15
SG	3	Gym	4	GK-Q1	14	Mo, 1.12.2014 13:10-13:55	Mo, 8.12.2014 13:10-13:55	Fr, 12.12.2014 7:50-9:25
KG	3	Gym	5	GK-Q1	15	Mo, 12.1.2015 13:10-13:55	Mo, 19.1.2015 13:10-13:55	Fr, 23.1.2015 7:50-9:25
SG	4	Gym	6	LK-Q1	13	Mo, 8.12.2014 14:45-15:30	Di, 9.12.2014 7:55-9:25	Mo, 15.12.2014 14:00-15:30
KG	5	Gym	7	LK-Q3	14	Do, 11.12.2014 14:40-16:05	Fr, 12.12.2014 9:40-11:15	Do, 18.12.2014 14:40-16:05
(KG)	6	KGS	8	GK-Q1	(14)	Mi, 14.1.2015 14:00-15:30	Do, 15.1.2015 9:45-10:30	Entfiel
SG Insgesamt					53			
KG Insgesamt (ohne Kurs 8)					34			

Tabelle 3: Überblick über die Kurse der Stichprobe

3.6.2. Lerngruppenanalysen

In diesem Abschnitt werden die einzelnen Kurse analysiert. Dabei wird es vor allem um Aspekte gehen, die für die Durchführung der Probestunde von Bedeutung sind. In die Diskussion der Lerngruppen werden sowohl Beobachtungen des Autors aus den Hospitationen als auch Informationen, die aus Befragungen der Kurslehrkräfte stammen, berücksichtigt.

In Schule 1 steht **Kurs 1** zur Verfügung, welcher ein Grundkurs der Q1 unter der Leitung von Lehrkraft 1 ist. In diesem Kurs nehmen 16 SuS der Schule 1 teil, die sich in 10 Schüler und 6 Schülerinnen aufteilen. Bei den Hospitationen sind weder im Verhalten noch in der Leistungsfähigkeit besonders auffällige Teilnehmer erkannt worden. Die Lerngruppe ist homogen.

Besonders fällt die Bereitschaft der SuS auf, auch in langen Frontalphasen ohne Wechsel der Sozialform konzentriert mitzuarbeiten. Wenige scheinen in diesen Phasen nicht mitzudenken, und niemand stört. Die SuS können offen über Verständnisprobleme aus der letzten Unterrichtsstunde sprechen. Das Verhältnis zur Lehrkraft scheint vertraut.

Der Fachraum ist ein älterer Stufensaal (Hörsaal) mit unbeweglichen Tisch- und Klappstuhlreihen. Die technische Ausstattung umfasst einen an der Decke befestigten Beamer, der mittels VGA-Datenübertragung Inhalte auf die Projektionsfläche projizieren kann. Die Projektionsfläche ist die Wand hinter der zweiteiligen Tafel.

Lehrkraft 1 schätzt den Kurs als sehr leistungsstark ein. Obwohl die Elektrostatik mit der Probestunde thematisch beendet wird, wurde in den Stunden der Hospitation bei einigen SuS ein leicht unsicherer Umgang mit den Begriffen Ladung und Stromstärke in Verbindung mit Kondensatoren festgestellt.

Daraus folgt, dass der Autor in der Erarbeitungsphase der Probestunde zur Unterstützung verstärkt durch die Reihen gehen wird. Bei der Gruppeneinteilung haben die SuS freie Auswahl. Bedingt durch die statische Anordnung der Tische und Stühle sollte die geplante Gruppenarbeit so organisiert werden, dass die Gruppen an nur einer Seite der Tische in Reihen zu-

sammenarbeiten. Da die Rückseite der Tische durch die Stufenform des Saales höher liegt, kann als Alternative an dieser Seite des Tisches im Stehen gearbeitet werden. Diese Organisationsform wird auch für alle anderen Kurse der Testreihe gewählt, die in einem Stufensaal unterrichtet werden. Die Teststunde findet in den ersten beiden Schulstunden statt. Nach Auskunft von Lehrkraft 1 ist zu dieser Zeit mit einer hohen Aufmerksamkeitsbereitschaft der SuS zu rechnen.

Kurs 2 ist ein Physikleistungskurs der Q1 in Schule 2 unter der Leitung von Lehrkraft 2. Es handelt sich hier um einen kleinen Leistungskurs mit 6 SuS, welcher sich aus 1 Schülerin und 5 Schülern zusammensetzt.

Aufgrund der geringen Schülerzahl und der damit verbundenen Möglichkeit zur individuellen Betreuung ist die Atmosphäre im Kurs sehr produktiv. Zwei SuS sind in Gruppenarbeiten recht dominant und wollen gerne ihr eigenes Können demonstrieren; dabei können weiterführende Beiträge anderer Gruppenmitglieder verlorengelassen. Zwei SuS sind im Vergleich zum restlichen Kurs eher leistungsschwach. Die Hälfte des Kurses stammt aus einer nahe gelegenen anderen Schule. Durch eine Schulkooperation werden die SuS im Leistungskurs gemeinsam unterrichtet. Dadurch kennen sich die SuS aus den unterschiedlichen Schulen weniger gut als diejenigen, die seit Jahren gemeinsam in einer Jahrgangsstufe sind.

Im Bereich der Elektrostatik hat der Kurs zum Zeitpunkt der Erhebungsstunde bereits elektrische Felder behandelt. Insbesondere wissen die SuS, wie sich Kondensatoren beim Lade- und Entladevorgang verhalten und haben eine Grundvorstellung darüber, wie sich Dielektrika in elektrischen Feldern polarisieren.

Die technische Ausstattung des Fachraumes umfasst ein fest installiertes interaktives Whiteboard. Mit Hilfe eines VGA-Kabels können Inhalte über den integrierten Beamer an die Tafelfläche projiziert werden. Zusätzlich können herkömmliche Whiteboardflügel vor die Projektionsfläche geklappt werden. Die SuS sind den regelmäßigen Einsatz eines Laptops im Physikunterricht von der Lehrkraft gewohnt.

Bei dem Unterrichtsraum handelt es sich um einen Stufensaal mit fest im Boden verankerten Tischen (vgl. Handhabung in Kurs 1). Die Erhebungsstunde findet in den ersten beiden Schulstunden statt.

Bei der Einteilung der Gruppen wird in dieser Unterrichtsstunde darauf geachtet, dass die einzelnen Teams aus SuS unterschiedlicher Schulen zusammengesetzt sind. Dadurch arbeiten die Gruppen nicht immer in denselben Konstellationen und lernen Denkmuster der anderen Kursmitglieder kennen. Der Autor wird die beiden dominanten SuS in der Probestunde auf unterschiedliche Gruppen verteilen, da sie gemeinsam in einer Gruppe ein produktives Arbeiten beeinträchtigen könnten.

Die Lerngruppe des *Kurses 3* ist ein Leistungskurs der Q1 und besteht aus 11 SuS. Dabei handelt es sich um 1 Schülerin und 10 Schüler. Der Kurs wird von Lehrkraft 3 in Schule 3 geleitet.

Die Zusammensetzung wirkte in den Hospitationsstunden recht heterogen. Nach diesen Beobachtungen werden 3 SuS als besonders leistungsstark eingeschätzt. 4 SuS zeigen sich sehr still. Sie haben sich während den Hospitationsstunden nur bedingt am Unterrichtsgespräch beteiligt. Die allgemeine Atmosphäre im Kurs ist entspannt und größtenteils konzentriert. Bei längeren frontalen Phasen wurde des Öfteren beobachtet, wie bei einigen SuS die Aufmerksamkeit nachlässt. Besonderen Spaß haben große Teile der Lerngruppe bei selbstständigen Experimentierphasen.

Als Örtlichkeit steht ein Fachraum in Form eines Stufensaales zur Verfügung. Wie üblich sind auch hier die Tische fest mit dem Boden verbunden (vgl. Kurs 1). An der Decke des Saales ist ein fest installierter Beamer vorzufinden. Durch Herunterschieben der zweiteiligen Tafel dient die dahinterliegende Wand als Projektionsfläche.

Eine VGA-Buchse am Lehrerpult dient der Verbindung von Visualisierungsmedien mit dem Beamer. Die Probestunde findet in der dritten und vierten Unterrichtsstunde statt.

Auf Grund der Kursbeschaffenheit wird darauf geachtet, dass die Zusammensetzung in der Gruppenarbeitsphase so strukturiert ist, dass die leistungsstarken SuS auf möglichst viele verschiedene Gruppen aufgeteilt wer-

den. Damit wird gewährleistet, dass den meisten Gruppen eine treibende Kraft in Form eines hoch motivierten SoS zugeordnet ist, was auch das Arbeitstempo zwischen den Gruppen angleichen kann. Bei den Demonstrationsexperimenten werden verstärkt die ruhigeren SuS als Assistenten eingesetzt, um auch ihnen eine Chance zu geben, sich souverän zu präsentieren.

Kurs 4 ist ein Physikgrundkurs der Schule 3 in der Q1 unter der Leitung von Lehrkraft 4. Die Lerngruppe umfasst 15 SuS. Darunter sind 10 Schüler und 5 Schülerinnen. Der Unterricht findet meistens im selben Raum statt, in dem auch Kurs 3 unterrichtet wird. Häufig wird der Unterricht in einen Chemiesaal verlegt, der über eine identische technische Ausstattung verfügt. Der Chemiesaal unterscheidet sich einzig durch fachspezifische Anforderungen der Chemie, die für die Probestunde nicht relevant sind, wie zum Beispiel einem Abzug.

Der Kurs ist nach Aussage der Lehrkraft eher leistungsschwach. Im Unterricht wird möglichst viel bildlich gearbeitet, da Abstraktionen und mathematische Herangehensweisen vielen SuS schwer fallen. Der Lehrkraft zu Folge sind zwei SuS im Vergleich zum restlichen Kurs sehr leistungsstark. Einige SuS waren bei den Hospitationen zeitweise nicht besonders konzentriert. Sie ließen sich leicht ablenken und einige wenige SuS schienen am Physikunterricht nicht besonders interessiert zu sein. Die allgemeine Atmosphäre lässt jedoch eine angemessene Arbeitsweise zu, da die meisten SuS engagiert sind.

Lehrkraft 4 arbeitet im Physikunterricht regelmäßig mit einem Laptop, wodurch die Kursteilnehmer an den Einsatz neuer Medien gewöhnt sind. Auch die Digitalisierung von Hefteinträgen zur Demonstration von Arbeitsergebnissen ist den SuS vertraut. Lehrkraft 4 setzt zu diesem Zweck eine Smartphonekamera ein und lädt die Bilder in eine Cloud, um sie über einen Laptop zu zeigen.

Der Kurs findet in der Teststunde während den ersten beiden Schulstunden statt. Laut Lehrkraft 4 sind zu dieser Zeit einige SuS noch relativ müde.

Lehrkraft 5 unterrichtet **Kurs 5** an Schule 3. Bei diesem Kurs handelt es sich um einen Physikgrundkurs der Q1 mit 6 Schülerinnen und 9 Schülern. Der Kurs findet abwechselnd in einem Biologie- und in einem Chemiesaal statt. Die Erprobungsstunde in diesem Kurs ist dem Chemiesaal zugeordnet, der den Aufbau eines Stufensaales aufweist. Neben einem Beamer, der an der Decke des Unterrichtsraumes montiert ist, verfügt die Räumlichkeit über eine zweiteilige Tafel. Wie im Physiksaal, in dem Kurs 3 und 4 unterrichtet werden, dient eine VGA-Buchse am Lehrertisch der Datenübertragung an den Beamer. Außerdem steht für die Erprobungsstunde eine Dokumentenkamera zur Verfügung.

In den Hospitationsstunden wirkte die Atmosphäre im Kurs sehr offen und vertraut. Nach Auskunft von Lehrkraft 5 ist die Lerngruppe bezüglich der Leistungsfähigkeit sowie des Engagements heterogen. In den schriftlichen Leistungsnachweisen schneiden 3 SuS regelmäßig mangelhaft ab, wohingegen es auch 4 sehr gute SuS gibt. Lehrkraft 5 beschreibt den Kurs insgesamt als tendenziell gut. Da die leistungsstarken SuS an unterschiedlichen Orten im Unterrichtsraum sitzen, wird in der Erarbeitungsphase der Erhebungsstunde kein Einfluss auf die Gruppeneinteilung genommen. Dadurch werden die starken SuS in der Funktion einer fachlichen Stütze automatisch auf unterschiedliche Gruppen verteilt.

Die Lerngruppe ist den Einsatz eines Tablet-PCs seitens der Kurslehrkraft gewohnt.

Die Erhebungsstunde findet in den ersten beiden Schulstunden statt. Laut Aussage von Lehrkraft 5 sind einige Kursteilnehmer zu dieser Zeit sehr müde und weniger leistungsbereit als in später gelegenen Schulstunden. Außerdem kommt es regelmäßig zu Verspätungen von SuS.

An Schule 4 findet sich **Kurs 6** von Lehrkraft 6 als Versuchskurs. Dieser Kurs ist ein Physikleistungskurs der Q1 mit 14 SuS, wovon 2 Schülerinnen und 12 Schüler sind.

Der Unterrichtsraum ist mit frei beweglichen Stühlen ausgestattet und fällt somit aus dem traditionellen Bild eines Hörsaales heraus. Dennoch sind die Tischreihen fest im Boden verankert, wodurch für die Gruppenarbeit die-

selben Konsequenzen zu beachten sind wie bei Stufensälen (siehe *Kurs 1*). Zusätzlich ist der Raum mit einem interaktiven Whiteboard mit umklappbaren mechanischen Whiteboardflügeln ausgestattet. Die Nutzung des interaktiven Whiteboards gestaltet sich unflexibel, da der damit verbundene PC an der Wand hinter dem Whiteboard angebracht ist. Die Steuerungskabel, welche aus einem VGA- und einem USB-Kabel bestehen, sind so kurz, dass nur mit Hilfe von Verlängerungskabeln ein eigener Laptop in Kombination mit der elektronischen Tafel verwendet werden kann.

Nach Aussage von Lehrkraft 6 ist lediglich ein einziger leistungsschwächerer SoS (SoS wird hier und im Folgenden zum Zweck der Anonymisierung anstelle von *Schülerin* beziehungsweise *Schüler* verwendet) in diesem Kurs. Neben dem ansonsten breiten Leistungsmittelfeld gibt es etwa 3 sehr gute SuS. Dies verhält sich konform zu den Beobachtungen des Autors aus den Hospitationsstunden. Das Engagement der SuS und die Lernatmosphäre im Unterricht fallen positiv auf. So gaben sich beispielsweise bei einem misslungenen Demonstrationsexperiment in einer Hospitationsstunde alle SuS ohne Widerworte mit einer Animation zufrieden.

Bei ruhigeren Kursteilnehmern wurde beobachtet, dass sie bei nicht verstandenen Inhalten keine Rückfragen stellen. Daher werden in der Erhebungsstunde - besonders in der Übungsphase in den Gruppen der ruhigeren SuS - spezielle Aufträge zur Diskussion der festgestellten Kerninhalte gegeben.

Der Probeunterricht findet in der 7. und 8. Unterrichtsstunde statt. Laut Lehrkraft 6 ist die Arbeitsbereitschaft bei den SuS zu dieser Zeit gut.

Kurs 7 ist ein Physikleistungskurs der Q3. Er wird in Schule 5 von Lehrkraft 7 unterrichtet. In dem Kurs sind 14 Schüler und 2 Schülerinnen vorzufinden.

Der Raum ist ein Stufenraum (vgl. Kurs 1). Neben der zweiteiligen Tafel gibt es einen fest installierten Beamer, der an der Decke angebracht ist. Dieser kann mittels VGA-Kabel angesteuert werden; die Anschlussbuchse ist an der Seite des Raumes positioniert, wodurch die Platzierung von Unterrichtsmedien ohne Verlängerungskabel unflexibel ist.

Der Kurs ist bereits in der zwölften Jahrgangsstufe (Q3), was bedeutet, dass die Elektrostatik gemäß Lehrplan bereits ein Jahr zuvor behandelt wurde. Das aktuell behandelte Thema sind Phänomene der Quantenphysik. Die Vorbereitung auf die Abiturprüfungen ist noch nicht so weit fortgeschritten, dass alle SuS ihre Vorkenntnisse zur Elektrostatik uneingeschränkt abrufen können. Daher wird in der Erhebungsstunde besonders bei dem Vergleich mit Kondensatoren in der Ergebnissicherung 2 und auch bei den Gruppenarbeitsphasen verstärkt Hilfestellung geben.

Der Kurs ist nach den Beobachtungen aus den Hospitationsstunden größtenteils engagiert und wissbegierig. Die Leistungsfähigkeit, die in den Klausuren ermittelt wurde, ist durchschnittlich, und breit auf die mittleren Notenpunkte verteilt. Neben drei vergleichsweise guten SuS gibt es auch zwei schwache SuS.

Die Atmosphäre im Kurs ist sowohl nach den Beobachtungen des Autors als auch nach Befragungen von SuS offen und vertraut. Nach Meinung von SuS ist sie jedoch häufig unproduktiv und von Ablenkungen vom Lehrinhalt geprägt.

Die Teststunde findet in der 9. und 10. Stunde statt. Gemäß der Auskunft von Lehrkraft 7 ist bei mäßig intrinsisch motivierten SuS mit einer herabgesetzten Aufmerksamkeit zu rechnen. Außerdem können Vorkommnisse des auslaufenden Schultages eine emotionale Unausgeglichenheit hervorgerufen haben.

Bei **Kurs 8** handelt es sich um einen Physikgrundkurs der Q1, der von Lehrkraft 8 in Schule 6 unterrichtet wird. Die Lerngruppe setzt sich aus 10 Schülern und 4 Schülerinnen zusammen.

In diesem Kurs konnte leider keine Erhebungsstunde stattfinden (vgl. Kapitel 3.3).

3.6.3. Besonderheiten der Erhebungsstunden

Die Stundenbeschreibungen sind in der Reihenfolge aufgeführt, in denen die Erhebungsstunden stattgefunden haben. Damit ist nachvollziehbar, an welchen Stellen Entschlüsse für Optimierungen getroffen wurden, um die Stundenverläufe zu verbessern.

Um die Stunde in *Kurs 3 (Studiengruppe)* zu filmen, wurde am Morgen der Erprobung ein Camcorder an der Servicestelle des Hochschulrechnungszentrums entliehen. Erst bei der Ausleihe gab die Servicestelle die Information, dass der Camcorder ohne Speicherkarte verliehen würde. Da die Kamera am Tag zuvor noch nicht verfügbar war, konnte kurzfristig keine Speicherkarte mehr besorgt werden. Aus diesem Grund konnte diese Stunde nicht gefilmt werden.

Bereits im Vorfeld wurde bei einem Test der Beamer Verbindung mit dem Apple TV ein Flackern des Beamers in dem Raum festgestellt. Als Ursache wurde eine ungenügende Stärke des ausgegebenen Signals vermutet. Bei späteren Übertragungstests konnte kein Flackern mehr beobachtet werden. In der Erprobungsstunde flackerte der Beamer wieder. Wie sich herausstellte, lag dies jedoch nicht an der Signalstärke, sondern der Beamer versuchte sich vergeblich auf die Bildauflösung des Apple TVs einzustellen. Auch nachdem das Seitenverhältnis am Beamer manuell eingestellt wurde, bestand die Instabilität fort. Der Beamer schaltete zwei Mal durch Überlastung ab. Nach einem erneuten Start wurde das Bild verkleinert und ohne erkennbares Flackern wiedergegeben.

Der Stundenverlauf war angenehm. Die SuS arbeiteten konzentriert mit, und in den Arbeitsphasen kamen die einzelnen Gruppen ausnahmslos in der vorgesehenen Zeit auf die Ergebnisse. Insbesondere die schneller arbeitenden Gruppen hätten sich noch mit der Zusatzaufgabe (Aufgabe 3 auf dem Arbeitsblatt) beschäftigen können. Die Teilnehmer entschieden sich jedoch für eine Arbeitspause.

Beim Versuch der Hypothesenprüfung konnten nur drei Messwerte aufgenommen werden, da in der Schule nur drei unterschiedliche Massestücke in dem benötigten Massenbereich von 0,2kg bis 2kg verfügbar waren. Die

Verwendung mehrerer Massstücke ist auf Grund der schmalen Auflagefläche auf dem Piezokristall nicht möglich. Durch die abgerundete Form können die Massstücke nicht gestapelt werden. Trotz der geringen Anzahl an Messpunkten wurde die gewünschte Proportionalität von den SuS gut erkannt.

Das iPad konnte für alle vorgesehenen Zwecke - trotz des störenden Flackerns - eingesetzt werden. Die Unterrichtsstunde war mit dem Erreichen des Minimalziels zu Ende.

Durch Äußerungen von SuS nach der Unterrichtsstunde fiel auf, dass nicht ausreichend klar wurde, wie relevant der piezoelektrische Effekt für alltägliche technische Anwendungen ist. Deshalb wird für die folgenden Erhebungsstunden das Minimalziel umformuliert. Das Minimalziel ist folglich erst dann erreicht, wenn mindestens eine der technischen Anwendungen, die für den Ausblick vorgesehen waren, gezeigt wurde und Hinweise auf die Rolle des piezoelektrischen Effekts gegeben wurden.

Bereits vor der Erhebungsstunde machte Lehrkraft 3 die Ansage, dass die SuS im Anschluss an die Unterrichtsstunde ihre korrigierten Klausuren zurückbekommen. Die SuS waren daher am Ende der Unterrichtsstunde relativ nervös.

Bei der Erprobung in **Kurs 2 (Kontrollgruppe)** lief die Bildübertragung des Laptops an den Beamer wie geplant. Im Vorfeld versäumte der Autor, die Schalterordnung der Raum- und Whiteboardbeleuchtung genauer zu betrachten. Daher geriet der Stundenfluss kurzzeitig etwas ins Stocken, als die gewünschte Beleuchtungseinstellung zum Beobachten des Funkens am Piezozünder gesucht wurde.

Die SuS zeigten sich interessiert und arbeiteten gut mit. Die Erarbeitungsphase dauerte jedoch länger als erwartet, da die Aufgaben auf dem Arbeitsblatt von den SuS sehr gewissenhaft gelöst wurden. Als die physikalischen Abläufe in der Strukturzelle in der Ergebnissicherung 2 hinterfragt und zusammengefasst werden sollten, schienen die Lernenden etwas zu stark gefordert; an dieser Stelle wurde mehr Zeit benötigt als vorgesehen.

Die beobachtende Kurslehrkraft schätzte die angewandte Herangehensweise des Autors jedoch als angemessen ein.

Für den Versuch der Hypothesenprüfung konnten mit den vorhandenen Massestücken der Schule vier Messwerte aufgenommen werden. Die erwartete Proportionalität war gut zu erkennen.

Die Unterrichtsstunde war nach 48 Minuten mit dem Erreichen des Minimalziels zu Ende.

In *Kurs 4 (Studiengruppe)* verlief die Stunde harmonisch. Da aus der Probestunde in *Kurs 3* bekannt war, dass das Signal des Apple TVs von dem Beamer im Fachraum fehlerhaft dargestellt wird, wurde in dieser Unterrichtsstunde ein mobiler Beamer der Schule 3 verwendet. Auf einem Overheadprojektor konnte der Beamer vor dem Lehrerpult platziert und alle optisch störenden Kabel im Gehäuse der Wagenkonstruktion des Overheadprojektors verstaut werden.

Es waren 14 der 15 Kursteilnehmer anwesend. Laut der Kurslehrkraft handelt es sich um einen Grundkurs mäßigen Leistungsstandes. Tatsächlich war ein deutlich reduzierter Ideenfluss im Vergleich zu den vorherigen Leistungskursen zu spüren. Bereits in der Hypothesensammlung mussten vom Autor mehr inhaltliche Vorgaben gemacht werden als geplant. In den Gruppenarbeitsphasen brauchten alle Gruppen etwa fünf Minuten länger als erwartet. Auch die abschließende Ergebnissicherung lief schleppend. Durch diese Umstände dauerte die Unterrichtsstunde 55 Minuten, bis das Minimalziel erreicht wurde.

Für den Versuch der Hypothesenprüfung standen erneut nur 3 Massenstücke zur Verfügung. Dennoch war die erwünschte Proportionalität sehr gut zu erkennen.

Die Animationen, die in der Ergebnissicherung 2 verwendet wurden, stellten sich als verbesserungswürdig heraus: Durch die statische Größe der Kraftpfeile war die Vergrößerung der einwirkenden Kraft optisch nicht erkennbar. Sie wurde vom Autor verbal erläutert, wodurch den SuS der Ablauf ersichtlich wurde. Den Lernenden bereitete dies keine weiteren Verständnisprobleme. Dennoch erspart eine Optimierung der Animationen in

den folgenden Erhebungsstunden einige Erklärungsarbeit. In den angepassten Animationen ändern die Kraftpfeile ihre Länge proportional zur Deformation der Strukturzellen.

Durch die zeitliche Verzögerung, dessen Ausmaß durch die längere Bearbeitungszeit der Eingangsfragebögen gesteigert wurde, hatten die SuS nach der Unterrichtsstunde weniger Zeit, um die Abschlussfragebögen auszufüllen. Möglicherweise fühlten sich dadurch einige SuS unter Druck gesetzt, was die affektiven Befindlichkeiten gestört haben könnte.

In der Unterrichtsstunde in *Kurs 6 (Studiengruppe)* waren 13 der 14 Kursteilnehmer anwesend. Die Lerngruppe war an dem Unterrichtsthema sehr interessiert und arbeitete engagiert mit.

Für den Versuch in der Hypothesenprüfung standen auch diesmal drei unterschiedliche Massestücke zur Verfügung. Im Unterschied zu den bisherigen Unterrichtsstunden konnte man die Proportionalität nicht gut erkennen. Möglicherweise wurden die Massestücke ungleichmäßig auf dem Gehäuse des Piezokristalls positioniert, was zu uneinheitlichen Messresultaten führen kann. Es bedurfte einiger Argumentation seitens des Autors, um die gewünschte Schlussfolgerung zu ziehen und die Unterrichtsstunde fortzusetzen.

Auch die Ergebnissicherung 2 dauerte länger als erwartet, wodurch die Unterrichtsstunde 54 Minuten bis zum Erreichen des Minimalziels dauerte. Ein Nachteil für die Probanden entstand dadurch jedoch nicht, da - wie bei allen Kursen - im Hinblick auf das Ausfüllen der Fragebögen insgesamt eine Doppelstunde für die Durchführung eingeplant war.

In den bisherigen Unterrichtsstunden im Rahmen dieser Studie dauerte die Ergebnissicherung 2 meistens länger als geplant, da es den SuS Probleme bereitete, sich die Polarisation des Kristalls bei mehr als einer Strukturzelle vorzustellen. Als Optimierung für die folgenden Stunden wird daher in dieser Phase eine Abbildung gezeigt, welche diesen Zusammenhang verdeutlicht (siehe Abbildung 18).

Als weitere Optimierung werden für den Versuch der Hypothesenprüfung nicht mehr die vorgegebenen Massestücke aus der Physiksammlung der

jeweiligen Schule verwendet, sondern Flaschen, die mit unterschiedlich großen Wassermengen befüllt sind. Dadurch ist der Versuchsverlauf von der Vielfalt der Schulausstattung unabhängig. Folglich können stets fünf Messwerte aufgenommen werden, was tendenziell zu besseren Resultaten führt.

Die letzte Unterrichtseinheit der *Studiengruppe* fand in *Kurs 1* statt. Von den 16 SuS waren 15 anwesend.

Der Verlauf der Unterrichtsstunde verlief planmäßig. Die SuS waren an dem vorgegebenen Thema interessiert und die meisten SuS engagierten sich in allen Unterrichtsphasen. In dieser Probestunde versuchte der Autor erstmalig, für die handschriftlichen Notizen auf dem iPad keinen Notenständer zu verwenden.

Es entstand der Eindruck, dass mit dem Arm, welcher nicht zum Schreiben eingesetzt wird, eine sicherere Stütze des iPads erreicht werden kann, als es mit einem Notenständer möglich ist. Dies liegt zum einen daran, dass die verwendeten Notenständer nicht stabil genug gebaut waren und wackelten. Zum anderen kann mit dem Arm die Höhe des Arbeitsgeräts beliebig variiert werden. Der Notenständer sollte nach den Vorstellungen des Autors niedrig eingestellt sein, da ansonsten die gewonnene räumliche Nähe zu der Lerngruppe durch eine optische Barriere eingeschränkt würde. Somit muss beim Schreiben am Notenständer zwangsläufig eine leicht gebückte, unnatürliche Haltung eingenommen werden, was mit der Stütze durch den freien Arm nicht nötig ist. Die Variante ohne Notenständer ist demnach zu empfehlen.

Durch den Ersatz der schuleigenen Massestücke durch unterschiedlich gefüllte Wasserflaschen konnten in der Hypothesenprüfung fünf anstelle drei Messwerte aufgenommen werden. Dadurch war die proportionale Beziehung zwischen der Gewichtskraft der Flaschen und der elektrischen Spannung am Piezokristall im Rahmen der Messunsicherheit gut erkennbar. Die erstmalig eingesetzte Abbildung der polarisierten Kristallstruktur hat zu einer effizienteren Ergebnissicherung 2 beigetragen. Das Minimalziel wurde ohne nennenswerte Überschreitung der 45 Minuten erreicht.

In **Kurs 7 (Kontrollgruppe)** konnte der Fachraum erst später als vereinbart zur Vorbereitung betreten werden. Dadurch reichte die Zeit für den Aufbau vor der Unterrichtsstunde nicht komplett aus, und die letzten Handgriffe mussten erledigt werden, während der Kurs bereits im Raum war. Es waren 14 der 16 SuS anwesend.

Erschwerend für die Durchführung kam hinzu, dass die Schulstunden in dieser Schule ab der 7. Stunde nur 40 Minuten dauern. In der Doppelstunde, in dessen Rahmen die Erprobungsstunde stattfand, standen daher 10 Minuten weniger zur Verfügung als geplant.

Da die Erhebung in der 9. und 10. Stunde stattfand, war die Aufmerksamkeit einiger SuS zeitweise wenig fokussiert, und sie waren leicht abzulenken. Der Kurs befindet sich derzeit in der Q3, wodurch manchen SuS die Elektrostatik, dessen Inhalte zur Erschließung der Grundlagen des piezoelektrischen Effekts nötig sind, nicht präsent war (dieser Lehrinhalt wird gemäß Lehrplan in der Q1 unterrichtet).

Dadurch trauten sich einige SuS an vielen Stellen des Unterrichtsgesprächs nicht zu, ihre Vermutungen zu äußern, da sie sich im Umgang mit elektrostatischen Argumentationen nicht sicher fühlten. Die Phasen der Ergebnissicherungen 1 und 2 dauerten daher auch länger als erwartet. Ebenso benötigten die SuS in der Hypothesenprüfung bei der Zeichnung des Graphen mehr Zeit als die bereits besuchten Kurse.

Bedingt durch die zeitlichen Probleme wirkte die Ergebnissicherung 2 auch hektischer und weniger entspannt als in den bisher gehaltenen Unterrichtsstunden. Das Minimalziel wurde nach 57 Minuten erreicht. Trotz der fortgeschrittenen Zeit füllten alle SuS noch vor dem Klingeln die abschließenden Fragebögen bis zum Ende aus.

Die letzte Unterrichtsstunde fand in **Kurs 5 (Kontrollgruppe)** statt. Es waren 14 der 15 SuS anwesend, und ein SoS verspätete sich um wenige Minuten.

Während die Lerngruppe vor der eigentlichen Unterrichtsstunde die Fragebögen ausfüllte, gingen die SuS einzeln vor die Saaltür, um mit Lehrkraft 5 ihre Zeugnisnote zu besprechen.

Obwohl – laut Lehrkraft 5 - einige Kursteilnehmer in den ersten beiden Schulstunden an Müdigkeit leiden, arbeiteten alle SuS engagiert mit. Mit den Ergebnissen des Versuchs der Hypothesenprüfung konnten die SuS einen Graphen zeichnen, der eine eindeutige Proportionalität zwischen der Spannung und der aufgewandten Gewichtskraft signalisierte. Die Proportionalität wurde auch von allen Schülerteams erkannt.

In der Erarbeitungsphase arbeiteten die Gruppen relativ zügig, wodurch alle SuS in der vorgegebenen Zeit einen ersten Eindruck vom longitudinalen sowie vom transversalen piezoelektrischen Effekt bekamen.

Obwohl es sich bei Kurs 5 um einen Grundkurs handelt, stellte die Ergebnissicherung 2 ein geringeres Problem dar als für viele andere Kurse. Ohne Überschreitung der vorgegebenen 45 Minuten konnte das Minimalziel erreicht werden.

Bevor die Fragebögen nach der Unterrichtsstunde ausgefüllt werden konnten, mussten zwei SuS den Unterricht wegen einer Schulveranstaltung vorzeitig verlassen. Da es für die Untersuchungsmethode wichtig ist, dass von allen SuS zu den beiden vorgesehenen Zeitpunkten Daten erhoben werden (vgl. Abschnitt 4.2.2), nahmen die betroffenen SuS die Fragebögen mit aus dem Fachraum und füllten sie kurze Zeit später aus. Gemäß der Vereinbarung trafen sie sich nach ihrer letzten Schulstunde mit Lehrkraft 5 zur Übergabe der Fragebögen.

4. Methoden der Datenerhebung und -auswertung

4.1. Darstellung der Erhebungsmethoden

Dieses Kapitel gibt einen Überblick darüber, mit welchen Methoden und Werkzeugen die Daten zur Schülermotivation und zum affektiven Befindlichkeitszustand erhoben werden.

Zunächst wird dargestellt, warum für beide Untersuchungsschwerpunkte ein Fragebogen als Erhebungswerkzeug gewählt wird und worauf bei dessen Gestaltung geachtet wurde. Danach werden die Skalen, welche zum Teil von anderen Autoren übernommen wurden, vorgestellt und deren Testgüte beurteilt.

4.1.1. Der Fragebogen als Forschungsmethode

In der empirischen Sozialforschung gibt es verschiedene Methoden, Daten zu erheben. Zunächst unterscheidet man zwischen *quantitativen* Methoden, die zuvor aufgestellte Theorien oder Hypothesen prüfen, und *qualitativen* Methoden, die aus der Betrachtung von Einzelfällen versuchen, Theorien zu generieren (vgl. Reinders, Ditton, Gräsel & Gniewosz, 2011, S. 48).

Zu den am häufigsten eingesetzten Verfahren zählen unter den quantitativen Methoden *Fragebogen*, *Testverfahren* und *Experimente*. Die Methoden *Interview* und *Beobachtung* können in unterschiedlichen Aufbereitungen sowohl quantitativ als auch qualitativ eingesetzt werden (vgl. Reinders, Ditton, Gräsel & Gniewosz, 2011, S. 51).

Der *Fragebogen* ist ein äußerst beliebtes Erhebungsinstrument, da „sehr viele verschiedene Sachverhalte erfasst und in vergleichsweise kurzer Zeit viele Personen befragt werden können“ (Reinders, Ditton, Gräsel & Gniewosz, 2011, S. 53). Fragebögen werden sehr häufig verwendet, wenn Meinungen und Einstellungen von Personen zu sich selbst im Zentrum der Befragung stehen (vgl. Reinders, Ditton, Gräsel & Gniewosz, 2011, S. 55).

Bei der Motivation und der Befindlichkeit von SuS, die im Rahmen dieser Arbeit erfasst werden, handelt es sich um eine theorieprüfende Herangehensweise, bei der persönliche Einstellungen und Meinungen hinterfragt werden.

Gemäß den bisherigen Ausführungen eignet sich die Methode des Fragebogens, um die Tests durchzuführen.

Ein Fragebogen ist prinzipiell aus den Bereichen „Instruktion, einem Einstiegs- und Aufwärbereich, einem oder mehreren thematischen Hauptteilen sowie einem Abschluss“ (Reinders, Ditton, Gräsel & Gniewosz, 2011, S. 55) aufgebaut. In allen eingesetzten Fragebögen beruht die Itemstruktur auf übergeordneten Überlegungen (siehe Abschnitt 4.1.2 und 4.1.3). Somit ist es kontraproduktiv, zusätzliche Items einzubringen, um alle erwünschten Fragebogenbereiche abzudecken.

Dadurch, dass er die Transparenz für die Studienteilnehmer erhöht, wird der Instruktionsteil in alle Fragebögen aufgenommen (siehe Anhang D, Anhang E & Anhang F). Dieser Teil stellt für die Probanden eine Orientierungshilfe dar. Zudem enthält er Informationen über die zu erwartenden Inhalte der Befragung, über die korrekte Verfahrensweise bei der Beantwortung der Fragen und über die diskrete Handhabung der erhobenen Daten. Besonders der Hinweis, dass es nicht um eine richtige oder falsche Beantwortung von Fragen geht, kann eine stressfreie Teilnahme an der Befragung fördern (vgl. Reinders, Ditton, Gräsel & Gniewosz, 2011, S. 55f.).

4.1.2. Erhebung der Motivation

Die Untersuchung der Motivation ist ein diffiziles Vorhaben. Der abstrakte Begriff ist schwer greifbar, was es kompliziert, ein Instrument zur Messung der Motivation zu entwickeln.

Die Umsetzung dieser Aufgabe orientiert sich an den Motivationsskalen von Prof. Dr. Jochen Kuhn der TU Kaiserslautern. Im Rahmen seiner Habilitationsschrift hat Kuhn unter anderem ein Instrument zur Erhebung von Schülermotivation im Physikunterricht entworfen, pilotiert und optimiert (vgl. Kuhn, 2009, S. 73f.).

4.1.2.1. Erläuterung der Skalen nach Kuhn

Die erste Fassung der von Kuhn entwickelten Skalen zur Messung der Motivation wurde nach einer Pilotierung von ihm weiterentwickelt. Damit ent-

stand ein Fragebogen mit 26 Items, die jeweils 6-stufige Antwortmöglichkeiten zulassen (vgl. Kuhn, 2009, S. 73).

Die Motivation wird durch Vereinigung der Faktoren „Intrinsische Motivation/Engagement“ (IE), „Selbstkonzept“ (Sk) und „Realitätsbezug/Authentizität“ (RA) als messbar angenommen (Kuhn, 2009, S. 73). Bei der Definition dieser Faktoren stützt sich Kuhn auf weitere Autoren, die sich mit der Motivation von SuS befassen haben.

Mit einer erneuten Erprobung des Fragebogens wurde durch eine Faktorenanalyse und Überprüfung der Reliabilität des Messinstruments festgestellt, dass die Skalen mit den eingesetzten Items über eine akzeptable Testgüte verfügen. Für alle Subskalen sind in Tabelle 4 die endgültigen Itemzahlen mit der dazugehörigen internen Konsistenz in Form des Koeffizienten *Cronbachs Alpha* aufgeführt (vgl. Kuhn, 2009, S. 74).

Die interne Konsistenz von Skalen gibt Auskunft über deren Messgenauigkeit. *Cronbachs Alpha* nimmt Werte zwischen 0 und 1 an und sollte bei einem guten Test 0,7 nicht unterschreiten (vgl. Moosbrugger & Kelava, 2012, S. 11). Die interne Konsistenz wird in Kapitel 4.2.1 näher erläutert.

Skala	Anzahl der Items	Cronbachs Alpha α
Sk	10	0.89
IE	8	0.89
RA	8	0.95
Insgesamt	26	0.93

Tabelle 4: Itemzahlen und interne Konsistenzen der einzelnen Skalen nach Kuhn

Dieser sorgfältig überprüfte Motivationstest bezieht sich auf die allgemeine Motivation im Physikunterricht. Ein weiterer Test, bei dem die gleichen Items auf eine einzelne Physikstunde umformuliert sind, soll als Motivationstest dienen, der Aufschluss über die Motivation in einer ganz bestimmten Unterrichtsstunde gibt.

Aus Gründen, die in Abschnitt 4.1.2.2 erläutert werden, ist es für die vorliegende Untersuchung nötig, die Skalen von Kuhn an die veränderten Bedürfnisse anzupassen. Zur besseren Verständlichkeit, wie die Skalen ur-

sprünglich aufgebaut waren, sind in Anhang B die Originalskalen des allgemeinen Motivationstests nach Kuhn aufgeführt. Die daraus von Kuhn abgeleiteten Skalen des Motivationstests für eine einzelne Physikstunde sind in Anhang C dargestellt.

4.1.2.2. Anpassung der ursprünglichen Items

Die Skalen, die Kuhn zur Erhebung der allgemeinen und der aktuellen Motivation im Physikunterricht eingeführt hat (siehe Abschnitt 4.1.2.1), sind zum Teil so formuliert, dass sie die Motivation der SuS erfassen, die durch die gestellten Aufgaben bedingt ist. Die spezielle Formulierung dieser Items hat den Hintergrund, dass Kuhn wissenschaftlich überprüfen wollte, welche Effekte das Stellen von Zeitungsaufgaben im Physikunterricht auf SuS der Sekundarstufe I hat (vgl. Kuhn, 2009, S. 67).

Da durch die vorliegende Arbeit die Motivation von SuS im Physikunterricht untersucht werden soll, die insbesondere auf den Medieneinsatz begründet ist, müssen die besagten Items angepasst werden. Zudem wurden bei verschiedenen vorgegebenen Items Änderungen vorgenommen, wenn die Formulierung entweder die Beantwortung erschwert oder für SuS der Sekundarstufe II nicht wissenschaftlich genug ausgedrückt ist. So sind beispielsweise Formulierungen abgewandelt, die die SuS nach dem Verständnis der Lehrinhalte befragen, da das Konstrukt des Verstehens nicht leicht zu greifen ist und von unterschiedlichen SuS anders definiert werden könnte. Items, die im Original nach „Dingen“ aus dem Physikunterricht fragen, wurden mit dem Ziel einer wissenschaftlicheren Formulierung ebenfalls geändert.

Weiterhin wurden die Antwortmöglichkeiten zur Bewertung der Aussagen geändert: An die Stelle von Schulnoten (1-6) tritt nun ein Feedback, zu welchem Anteil der Proband der jeweiligen Aussage zustimmt. Die Angabe dieser Anteile sind in der geänderten Fassung 6-stufig von 0% bis 100% möglich. Schulnoten haben den Nachteil, dass der Abstand zwischen den Noten 1 und 2 eine mildere Bedeutung hat, als der Abstand zwischen den Noten 4 und 5 (vgl. Schmidt, 2003). Demnach sind Daten, die auf Schulno-

ten beruhen, nicht für die vorgesehenen Signifikanztests geeignet (Widerspruch zu Bedingung 1, siehe Abschnitt 4.2.2).

Um zusätzliche Verwirrung seitens der Probanden zu vermeiden, wurde beim Fragebogendesign darauf verzichtet, die Items mit Kennzeichnungen der zugehörigen Subskalen zu beschriften. Durch ausreichende Kennzeichnung in den entsprechenden Auswertungstabellen fällt dadurch kein Nachteil für die Auswertung an.

Die Grundstruktur der Skalen wurde von Kuhn übernommen, da dessen Fragebögen gute Werte in der Testgüte erreicht haben (vgl. Abschnitt 4.1.2.1). Daher sind auch die in dieser Studie verwendeten Skalen für die Motivation auf den Subskalen „Intrinsische Motivation/Engagement“ (IE), „Selbstkonzept“ (Sk) und „Realitätsbezug/Authentizität“ (RA) nach Kuhn aufgebaut. Außerdem wurde darauf geachtet, bei den angepassten Items stets die Kernformulierungen der Originalitems, in denen diese sich von ähnlich formulierten anderen Items unterscheiden, beizubehalten. Die Fragebögen, wie sie in dieser Studie zur Erfassung der allgemeinen Motivation und der aktuellen Motivation einer einzelnen Stunde verwendet wurden, sind in Anhang D beziehungsweise Anhang E aufgeführt.

Der Grad der Motivation insgesamt und der aller Subskalen wurden für jeden ausgefüllten Bogen an der durchschnittlichen Punktzahl pro Item gemessen. In Analogie zum Original (vgl. Kuhn, 2009, S. 76) wurden die Antworten bei den einzelnen Items mit Punkten von 0 (0%) bis 5 (100%) kodiert.

In Tabelle 5 ist eine Übersicht zu sehen, welche Items der angepassten Fragebögen welcher Subskala zugeordnet sind und was die jeweilige Subskala aussagt.

Durch die Anpassung der Skalen ist nicht mehr gesichert, dass die statistische Testgüte des Fragebogens ebenso hoch ist wie die des Originals.

Um Testverfahren vollständig zu überprüfen, sind insbesondere in der Psychologie, in der ein großer Wert auf die empirische Beurteilung der Qualität eines Tests gelegt wird (vgl. Moosbrugger & Kelava, 2012, S. 8), zehn unterschiedliche Kriterien verbreitet. Um die Güte der Testinstrumente lückenlos zu beschreiben, müssten Untersuchungen über die Objektivität, die

Reliabilität, die Validität, die Skalierung, die Normierung, die Testökonomie, die Nützlichkeit, die Zumutbarkeit, die Unverfälschbarkeit und die Fairness angestellt werden (vgl. Moosbrugger & Kelava, 2012, S. 8).

Subskala	Zugehörige Items	Kernaussage
Sk	1,3,5,6,8,11,12,14,18,22	Die eigenen Leistungen und Fähigkeiten im Physikunterricht werden eingeschätzt. Nur ein Item fragt nach der Rolle des Medieneinsatzes.
IE	4,9,15,17,19,20,23,25	Es wird nach der persönlichen Bindung zu physikalischen Inhalten und dem Physikunterricht an sich gefragt. Der Medieneinsatz spielt hier keine gesonderte Rolle.
RA	2,7,10,13,16,21,24,26	Die Frage, inwiefern der Physikunterricht alltagsnahe und schülerrelevante Unterrichtsgegenstände aufgreift, steht im Zentrum. In 4 Items wird hinterfragt, wie stark der Medieneinsatz für die Alltagsnähe verantwortlich ist.

Tabelle 5: Beschreibung der eingesetzten Subskalen zur Bestimmung der Motivation

Aus Gründen der zeitlichen Begrenztheit dieser Arbeit werden die Skalen lediglich auf ihre *interne Konsistenz* geprüft. Die *interne Konsistenz*, oder auch *innere Konsistenz*, ist ein Verfahren der klassischen Testtheorie zur Bestimmung der *Reliabilität* eines Tests. Durch sie werden Aussagen über die Messgenauigkeit eines Instruments ermöglicht (vgl. Moosbrugger & Kelava, S. 11f.). Die Methode, die dabei verwendet wird, ist in Abschnitt 4.2.1 näher erläutert.

4.1.3. Erhebung der affektiven Befindlichkeit

Um die affektive Befindlichkeit von Probanden zu quantifizieren, bedarf es einiger Überlegungen. Zunächst stellt sich die Frage, aus welchen Komponenten affektive Zustände zusammengesetzt sind. Hinzu kommt, dass die Formulierung und die Darstellung von Items in einem Fragebogen die Be-

findlichkeit und das Antwortverhalten von Testpersonen beeinflussen können, wodurch die Messung verzerrt wird.

Ein Messinstrument, durch welches der affektive Befindlichkeitszustand von Untersuchungspersonen differenziert analysiert werden kann, wurde von Prof. Dr. Urs Schallberger der Universität Zürich entwickelt (Schallberger, 2005). Dabei handelt es sich um Skalen, die speziell an die besonderen Umstände bei „*Experience Sampling Method*“ - Studien (im Folgenden ESM-Studien) angepasst sind (Schallberger, 2005, S. 7). Bei ESM-Studien handelt es sich um Untersuchungen, bei denen die Probanden in unterschiedlichen Häufigkeiten - meist mehrmals täglich - Informationen über den momentanen Zustand angeben müssen (vgl. Schallberger, 2005, S.7).

Auch in der vorliegenden Studie müssen die SuS in kurzer Zeit eine relativ große Menge an Fragebögen ausfüllen; dennoch soll das Ausfüllen die zu erhebende affektive Befindlichkeit möglichst wenig beeinflussen. Folglich werden die vorliegenden Bedingungen als angemessen erachtet, um die Befindlichkeitsskalen nach Schallberger zu übernehmen. Die besagten Skalen wurden nicht verändert, da es einerseits auf Grund des Untersuchungsformats nicht notwendig erscheint und andererseits, da bereits wesentliche Informationen zur Testgüte vorhanden sind (vgl. Abschnitt 4.1.3.1).

4.1.3.1. Erläuterung der Skalen nach Schallberger

Schallbergers Skalen zur Erhebung der affektiven Befindlichkeit ist eine Erweiterung und Anpassung an die spezifischen Anforderungen von ESM-Studien der Befindlichkeitsskalen „*Positive and Negative Affect Schedule*“ (PANAS) der Autoren Watson, Clark und Tellegen (1988). Diese Skalen stellen das „heute wohl bekannteste und am meisten angewandte Instrument zur dimensionalen Beschreibung der affektiven Befindlichkeit“ (Schallberger, 2005, S. 8) dar.

Die ursprünglichen Skalen beschreiben die affektive Befindlichkeit mit den Faktoren „*Positive Affect*“ (PA) und „*Negative Affect*“ (NA) (Schallberger, 2005, S. 13). 1999 wurden die Faktoren durch Watson, Tellegen und Clark umbenannt, wodurch nun in deutscher Übersetzung PA für die *Positive Aktivierung* und NA für die *Negative Aktivierung* steht (vgl. Schallberger, 2005,

S. 14). Bei hohen Messwerten für PA und NA handelt es sich um Zustände hoher Aktivierung. Der Unterschied zwischen den beiden aktivierten Zuständen liegt darin, dass PA einer Aktivierung mit positivem Charakter entspricht. NA stellt ebenfalls einen hoch aktivierten Zustand dar, wobei diese Art der Aktivierung als negativ erachtet wird (vgl. Schallberger, 2005, S. 13f.).

Da ein Instrument, welches den Befindlichkeitszustand erfassen soll, lückenhaft erscheinen kann, wenn im Fragebogen das „generelle Wohlbefinden“ nicht erfragt wird, fügte Schallberger den PANAS-Skalen die Dimension der Valenz (VA) hinzu. Man spricht demnach von einer Steigerung der Augenscheinvalidität (Schallberger, 2005, S.21).

Um beschreiben zu können, wie stark die Linearität des Zusammenhangs zweier Variablen ist, wird deren empirische Korrelation berechnet, was zu einem Wert zwischen +1 und -1 führt. Dabei bezeichnet eine empirische Korrelation von +1/-1 einen idealen positiven beziehungsweise negativen linearen Zusammenhang, bei dem alle Datenpunkte auf einer entsprechenden Geraden liegen. Bei einer empirischen Korrelation von 0 ist kein linearer Zusammenhang feststellbar (vgl. Eckle-Kohler & Kohler, 2009, S. 50f.). In Tabelle 6 sind die empirischen Korrelationen zusammengestellt, durch die der Zusammenhang der Dimensionen PA, NA und VA beschrieben wird (vgl. Schallberger, 2005, S. 14ff.).

	PA	NA	VA
PA	-	uneinheitliche, untersuchungsabhängige Angaben, ca. (-0,5) – (-0,3)	(0,49) – (0,65)
NA		-	(-0,96) – (-0,7)

Tabelle 6: Empirische Korrelationen zwischen den PANAVA-Dimensionen

An Tabelle 6 ist zu erkennen, dass die positive Korrelation von PA und VA wesentlich geringfügiger ist als die negative Korrelation von NA und VA. Daher können die ursprünglich angenommenen symmetrischen, linearen Beziehungen der Dimensionen PA und NA bezüglich des Wohlbefindens nicht bestätigt werden (vgl. Schallberger, 2005, S. 15).

Zur Verbesserung der Anwendbarkeit für ESM-Studien nahm Schallberger eine Reihe weiterer Veränderungen der PANAS-Skalen vor. Deren Items sind in ihrer Formulierung unipolar (einseitig ansteigende Skalen), wobei die Interpretation der einzelnen Dimensionen zwischen hoher und niedriger Aktivierung bipolar (in zwei entgegengesetzte Richtungen jeweils ansteigende Skalen) ausgerichtet ist. Dies ist der erste Grund für eine Formulierung der PANAVA-Kurzskalen (PANAVA-KS) in bipolarer Form (vgl. Schallberger, 2005, S. 21).

Der zweite Grund ist der Nachteil unipolarer Items, bei denen Probanden zu einseitigem, der Befragung zustimmendem Ausfüllen tendieren. Die daraus resultierende unkontrollierte Ergebnisverzerrung wird *Aquieszenz-Effekt* genannt. Durch bipolare Items mit wechselnder Polarität kann dieses Verhalten verhindert werden, wodurch eine „Antwortstilkontrolle“ (Schallberger, 2005, S. 22) stattfindet.

Die letzte wichtige Änderung besteht in der Länge des Fragebogens. Die Skalen nach Schallberger enthalten insgesamt nur 10 Items, was die zeitökonomische Beantwortung sicherstellen soll. Eine kurze Bearbeitungszeit ist eine wichtige Bedingung dafür, dass das Ausfüllen der Fragebögen eine geringe Belastung für die Versuchspersonen darstellt (vgl. Schallberger, 2005, S. 22).

Durch Schallbergers Studien ergeben sich für die einzelnen Subskalen die internen Konsistenzen (Cronbachs Alpha, siehe Abschnitt 4.2.1), wie sie in Tabelle 7 dargestellt sind (vgl. Schallberger, 2005, S. 28).

Skala	Anzahl der Items	Cronbachs Alpha α
PA	4	0,83
NA	4	0,76
VA	2	0,74

Tabelle 7: Itemzahlen und interne Konsistenzen der PANAVA-KS

An Tabelle 7 ist abzulesen, dass das Messinstrument trotz der geringen Itemzahlen akzeptable Werte für Cronbachs Alpha erreicht (siehe Kapitel 4.2.1). In der vorliegenden Studie werden als Konsequenz die Skalen der

PANAVA-KS als Messinstrument zur Erhebung der affektiven Befindlichkeit eingesetzt. Eine erneute Prüfung der Testgüte ist nicht erforderlich, da die Items nicht verändert wurden.

Die Formulierung der Items nach Schallberger ist dem Fragebogen zu entnehmen, wie er in dieser Studie verwendet wurde. Dieser ist in Anhang F angefügt.

4.2. Darstellung der Auswertungsmethoden

In diesem Kapitel ist aufgeführt, mit welchen Methoden die statistische Auswertung der erhobenen Daten durchgeführt wurde.

Zunächst muss - stellvertretend für die Testgüte - eine Methode ausgewählt werden, um die Testreliabilität der Motivationsfragebögen zu bestimmen. Bei dem Fragebogen zur affektiven Befindlichkeit ist dies nicht nötig, da die Skalen nicht verändert wurden und von Schallberger bereits empirisch getestet wurden (vgl. Abschnitt 4.1.3.1).

In den folgenden Abschnitten werden die Methoden beschrieben, die zur Beurteilung der statistischen Bedeutsamkeit und der Größe gefundener Mittelwertunterschiede zwischen den beiden Messzeitpunkten verwendet wurden.

Zuletzt wird kurz das Statistikprogramm R vorgestellt, das für die gesamte statistische Auswertung genutzt wurde.

4.2.1. Prüfung der internen Konsistenz der Skalen

Bei der Erhebung der Motivation bezüglich des Medieneinsatzes im Physikunterricht ist es nötig, zur Beurteilung der Testgüte die Reliabilität der verwendeten Skalen zu bestimmen (siehe Abschnitt 4.1.2.2). Neben der internen Konsistenz können dazu - gemäß der klassischen Testtheorie - auch die Verfahren der „Retest-Reliabilität“, der „Paralleltest-Reliabilität“ und der „Testhalbierungs-Reliabilität“ verwendet werden (Moosbrugger & Kelava, 2012, S. 12). Da die interne Konsistenz ohne Testwiederholung möglich ist und bei guter wissenschaftlicher Aussagekraft mit relativ geringem Aufwand bestimmt werden kann (vgl. Moosbrugger & Kelava, 2012, S.

12f.), wurde dieses Verfahren in der vorliegenden Studie zur Bestimmung der Reliabilität gewählt.

Die interne Konsistenz der Skalen kann mit Hilfe des Reliabilitätskoeffizienten Cronbachs Alpha α ausgedrückt werden. Als „eine der am häufigsten verwendeten Methoden zur Bestimmung der internen Konsistenz“ (Moosbrugger & Kelava, 2012, S. 130) wird Cronbachs Alpha in der vorliegenden Arbeit zu diesem Zweck verwendet. Ein guter Test sollte ein Cronbachs Alpha von mindestens 0.7 aufweisen, wobei Werte zwischen 0 und 1 möglich sind (vgl. Moosbrugger & Kelava, 2012, S. 11).

Cronbachs Alpha ist ein Maß dafür, wie stark die Items, die ein gemeinsames Konstrukt beschreiben sollen, durchschnittlich paarweise korrelieren (vgl. Moosbrugger & Kelava, 2012, S. 131).

Durch die Reliabilität wird eine Aussage über die „Genauigkeit“ (Moosbrugger & Kelava, 2012, S. 120) des Tests getroffen. Wenn Messfehler nur einen geringen Einfluss auf die Testwerte haben, nehmen Reliabilitätskoeffizienten hohe Werte an. Zu beachten ist, dass Cronbachs Alpha kein „Maß der Eindimensionalität“ (Moosbrugger & Kelava, 2012, S. 133) ist. Ein hoher Wert für α schließt demnach nicht aus, dass mehrere Konstrukte, erwünscht oder unerwünscht, in die Messung einfließen.

In dieser Untersuchung wird so verfahren, dass Cronbachs Alpha für die Konstrukte Sk, IE, RA und Gesamtmotivation für beide Motivationsfragebögen separat bestimmt wird. Zur tatsächlichen Berechnung der Koeffizienten wird das Statistikprogramm R (siehe Abschnitt 4.2.4) verwendet. In dem Zusatzpaket „Psy“ (Falissard, 2014), welches kostenlos auf einem Computer installiert werden kann, ist diese Funktion implementiert. Fehlt in einem Datensatz ein Wert, wird der gesamte Datensatz nicht in die Berechnung von Cronbachs Alpha einbezogen (vgl. Falissard, 2014, S. 3). Zu diesem Zweck werden - getrennt nach Fragebogentyp und Konstrukt - die Daten aller Kurse gemeinsam einbezogen. Da mit Hilfe des Koeffizienten Cronbachs Alpha eine möglichst allgemeine Aussage über die interne Konsistenz der Skalen getroffen werden soll, ist es naheliegend, die Daten beider Versuchsgruppen zu berücksichtigen.

Sollte sich herausstellen, dass die Reliabilität der Motivationstests nicht zufriedenstellend ist, müsste ein verbessertes Testinstrument zur Erhebung neuer Daten verwendet werden. Da der Zeitraum, der für die vorliegende Arbeit zur Verfügung steht, eine Wiederholung nicht zulässt, wird darauf - falls dieser Fall eintritt - verzichtet und abgewägt, inwiefern die Resultate aussagekräftig sind.

4.2.2. Prüfung der Ergebnisse auf Signifikanz

Wie auch in der vorliegenden Arbeit wird in empirischen Untersuchungen häufig eine Stichprobe mit einer begrenzten Größe betrachtet. Dadurch sollen Schlussfolgerungen auf eine gesamte Population getroffen werden. Folglich kann ein empirisch gefundener Unterschied zwischen den Mittelwerten zweier Gruppen durch Zufall zustande gekommen sein, während die zugrunde liegenden Populationen denselben Mittelwert aufweisen (vgl. Rasch, Friese, Hofmann & Naumann, 2010, S. 44). Wenn dieser Fall eintritt, aber nicht erkannt wird, würden falsche Schlussfolgerungen getroffen. Eine Methode zur Beurteilung gefundener Gruppendifferenzen ist der sogenannte *t-Test*. Die Frage, die durch diesen Test geklärt werden soll, lautet: „Wie wahrscheinlich ist die empirisch gefundene oder eine größere Mittelwertsdifferenz unter allen möglichen rein theoretisch denkbaren Differenzen [...]?“ (Rasch, Friese, Hofmann & Naumann, 2010, S. 45).

Mathematisch stellt der *t-Test* einen *zweiseitigen Hypothesentest* (vgl. Eckle-Kohler & Kohler, 2009, S. 195) dar. Als Nullhypothese wird zunächst angenommen, dass es keinen wirklichen Unterschied zwischen den Populationen gibt und die empirisch gefundene Mittelwertdifferenz zufällig zustande gekommen ist (vgl. Rasch, Friese, Hofmann & Naumann, 2010, S. 46). Unter dieser Annahme kann eine Verteilung der möglichen empirischen Mittelwertunterschiede in Form einer Normalverteilung mit einer geschätzten Standardabweichung mathematisch konstruiert werden (vgl. Rasch, Friese, Hofmann & Naumann, 2010, S. 48f.).

Durch eine Standardisierung der konstruierten Verteilung an der geschätzten Standardabweichung kann diese in die sogenannte *t-Verteilung* überführt werden. Die genaue Form der einzusetzenden *t-Verteilung* ist bereits

durch die Stichprobengrößen bestimmt (vgl. Rasch, Friese, Hofmann & Naumann, 2010, S. 52).

Die ebenfalls an der geschätzten Standardabweichung standardisierte empirische Mittelwertdifferenz wird *t-Wert* genannt. Durch die Kenntnis der *t-Verteilung* kann einem *t-Wert* eine Wahrscheinlichkeit zugeordnet werden, zu der die Mittelwertdifferenz, die dem *t-Wert* zugrunde liegt, oder eine größere unter Annahme der Nullhypothese (wirkliche Mittelwertdifferenz ist gleich null) auftritt (vgl. Rasch, Friese, Hofmann & Naumann, 2010, S. 51).

Würde unter diesen Bedingungen die Nullhypothese fälschlicherweise abgelehnt, stellt die besagte Wahrscheinlichkeit den *Fehler 1. Art* dar, der auch *α -Fehler* genannt wird (vgl. Rasch, Friese, Hofmann & Naumann, 2010, S. 56). Diesen Fall gilt es zu vermeiden. Die Grenzwahrscheinlichkeit, bis zu der eine mögliche Fehlentscheidung erlaubt wird, die Nullhypothese abzulehnen, nennt man *Signifikanzniveau* (Rasch, Friese, Hofmann & Naumann, 2010, S. 57).

In den meisten Fällen wird der übliche Wert von 0,05 als Signifikanzniveau festgelegt (vgl. Rasch, Friese, Hofmann & Naumann, 2010, S. 57). Aus diesem Grund wird in der vorliegenden Arbeit für die Auswertung der aufgenommenen Daten ebenfalls ein Signifikanzniveau von 0,05 gewählt. Daraus folgt, dass von einem Mittelwertunterschied nur dann auf einen tatsächlichen signifikanten Unterschied zwischen den Populationen geschlossen wird, wenn die Wahrscheinlichkeit des Auftretens des empirischen Werts - unter Voraussetzung der Nullhypothese - höchstens 0,05 beträgt. Diese Wahrscheinlichkeit wird *p-Wert* genannt und von der Software R als ein Ergebnis des t-Tests ausgegeben (vgl. Wollschläger, 2012, S. 212f.).

Um einen t-Test exakt durchführen zu können, müssen die folgenden drei mathematischen Bedingungen erfüllt sein (Rasch, Friese, Hofmann & Naumann, 2010, S. 59):

1. „Das untersuchte Merkmal ist intervallskaliert.“
2. „Das untersuchte Merkmal ist in der Population normalverteilt.“
3. „Die Populationsvarianzen, aus denen die beiden Stichproben stammen, sind gleich (Varianzhomogenität).“

Für Versuchsgruppen, die annähernd dieselbe Größe haben und mehr als 30 Probanden beinhalten, ist der t-Test gegen Verletzungen dieser mathematischen Bedingungen robust (vgl. Rasch, Friese, Hofmann & Naumann, 2010, S. 59).

In der vorliegenden Untersuchung werden sowohl in der Studien- als auch in der Kontrollgruppe mögliche Unterschiede zwischen den Mittelwerten vor und nach der Intervention auf Signifikanz geprüft. Die Intervention ist in beiden Versuchsgruppen eine Probestunde (siehe Abschnitt 3.4 & 3.5). Dementsprechend sind die Stichproben, denen die zu vergleichenden Mittelwerte zugeordnet werden, exakt gleich groß, und größer als 30 Teilnehmer (siehe Kapitel 3.6). Da die verglichenen Stichproben vor und nach der Probestunde aus derselben Schülergruppe stammen, spricht man von *abhängigen* Stichproben (vgl. Wollschläger, 2012, S. 216).

Daten haben Intervallskalenniveau (1. Bedingung), wenn sie Differenzbildung, Relationen und Aussagen über Unterschiede zulassen (vgl. Bühner, 2006, S. 74). Diese Bedingungen treffen auf die verwendeten Skalen zu.

Auf die Untersuchung auf Normalverteilung aller betrachteten Merkmale (2. Bedingung) wird in dieser Arbeit verzichtet, da ein t-Test speziell auf die Verletzung dieser Bedingung auch für kleine Stichproben äußerst robust reagiert (vgl. Rasch, Friese, Hofmann & Naumann, 2010, S. 60).

Soll mit R ein t-Test für abhängige Stichproben durchgeführt werden, bildet das Programm eine Differenzvariable, die durch Subtraktion der paarweise zugeordneten Werte entsteht. Der Mittelwert dieser Differenzvariablen wird auf die Hypothese geprüft, dass er null beträgt (vgl. Wollschläger, 2012, S. 216). Demnach führt R den t-Test effektiv mit nur einer Stichprobe durch, wodurch die Bedingung der Varianzhomogenität (3. Bedingung) erfüllt ist.

Daraus wird geschlussfolgert, dass zur Überprüfung der Ergebnisse auf Signifikanz in der vorliegenden Studie ein t-Test verwendet werden kann.

4.2.3. Bestimmung und Bewertung der Effektstärke

Die Signifikanz eines Ergebnisses gibt noch keine Auskunft über die Größe des beobachteten Mittelwertunterschiedes - er unterscheidet sich nur „mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit überzufällig von null“ (Bühner, 2006, S. 120).

Aus diesem Grund muss zusätzlich die *Effektstärke* eines Resultats geschätzt werden (vgl. Bühner, 2006, S. 120). Dazu kann der Koeffizient *Cohens* δ verwendet werden. Für abhängige Stichproben teilt der Schätzer δ den Mittelwert der Differenzen zwischen den zusammengehörigen Datenpaaren durch die Standardabweichung dieser Differenzen (vgl. Wollschläger, 2012, S. 216).

Die so ermittelten Effektstärken werden nach folgendem Klassifikationsvorschlag eingestuft (vgl. Bühner, 2006, S. 121):

- $\delta = 0,2 \rightarrow$ kleiner Effekt
- $\delta = 0,5 \rightarrow$ mittlerer Effekt
- $\delta = 0,8 \rightarrow$ starker Effekt

Ergebnisse, die auf einem 0,05-Niveau signifikant sind, werden - wie es üblich ist - mit einem Stern (*) gekennzeichnet. Ist ein Ergebnis sogar auf einem 0,01-Niveau signifikant, wird es mit zwei Sternen (**) markiert (vgl. Rasch, Friese, Hofmann & Naumann, 2010, S. 57).

Der Schätzer für *Cohens* δ wird manuell in R berechnet, da für ihn in dem verwendeten Statistikprogramm keine eigene Funktion implementiert ist (vgl. Wollschläger, 2012, S. 216).

4.2.4. Die Statistiksoftware R

R ist eine kostenlose Softwareumgebung (siehe WU Wien), mit dessen Hilfe Daten statistisch ausgewertet und verarbeitet werden können (vgl. Wollschläger, 2012, S. 1).

Die Umgebung R wird nicht über eine graphische Benutzeroberfläche gesteuert. Stattdessen werden alle Aktionen über Auswertungsbefehle initi-

iert. Diese müssen in Textform in der ebenfalls „R“ genannten Sprache eingegeben werden (vgl. Wollschläger, 2012, S.1).

Hat man sich vor Beginn der Nutzung noch nicht mit R beschäftigt, muss man sich zunächst in die Funktionsweise und die erforderte Syntax der Befehlsausdrücke einarbeiten. Es hat sich als praktikabel erwiesen, häufig verwendete längere Befehle in einem Texteditor zu formulieren. Diese können bei Bedarf in R kopiert werden, wodurch die Arbeit effizienter gestaltet werden kann.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden die aus den Fragebögen gewonnenen Daten zunächst in das Tabellenkalkulationsprogramm Excel 2010 der Firma Microsoft aufgenommen. Mit Hilfe der Tabellenkalkulation können die Skalenwerte aller Subskalen der Motivation und der affektiven Befindlichkeit für jeden einzelnen Fragebogen mit geringem Aufwand bestimmt werden. Die Skalenwerte entsprechen dabei der durchschnittlichen Antwort der jeweiligen Subskala. Der Skalenwert der Gesamtmotivation ist die durchschnittliche Antwort des gesamten Fragebogens. Auch für die Tabellenkalkulation wurden wiederkehrende Funktionen in einer Textdatei gespeichert, um sie effizient in die gewünschten Felder im Tabellenkalkulationsprogramm einfügen zu können.

Diese Tabellen können beispielsweise im Textformat gespeichert und über einen passenden Befehl in R importiert werden (vgl. Wollschläger, 2012, S. 158). Je nach Fragestellung ist es auf diese Weise möglich, unterschiedliche Tabellen im Tabellenkalkulationsprogramm zusammenzustellen und in R zu verarbeiten. Alternativ können einmalig importierte Datensätze mit Hilfe von R neu gruppiert werden. Ebenso besteht die Möglichkeit, nur bestimmte Zeilen oder Spalten in R zu betrachten.

Für folgende Zwecke wurde R in dieser Arbeit verwendet:

- Bestimmung der Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Skalenwerte für alle Kurse und die gesamten Versuchsgruppen (siehe Kapitel 5)

-
- Bestimmung der Internen Konsistenz (Cronbachs Alpha) der Motivationsskalen (siehe Kapitel 5.1.1)
 - Durchführung von t-Tests zur Bestimmung der p-Werte aller Subskalen für beide Versuchsgruppen (siehe Kapitel 5)
 - Bestimmung der Effektstärke (Cohens δ) aller Subskalen für beide Versuchsgruppen (siehe Kapitel 5)
 - Erstellung von Säulendiagrammen zur Verdeutlichung der Skalenverläufe (siehe Kapitel 5.1.2, 5.1.3, 5.1.4, 5.1.5, 5.2.1, 5.2.2 und 5.2.3)

Wissenschaftliche Hausarbeit von Thomas Arnold 2014/15

5. Ergebnisse der Untersuchung

Tabelle 8 liefert einen Überblick über die Daten, die sich aus den Fragebögen zur Motivation und zur affektiven Befindlichkeit ergeben haben. In der angesprochenen Tabelle sind die durchschnittlichen Skalenwerte aller Subskalen für alle Kurse mit den dazugehörigen Standardabweichungen angegeben. Die Skalenwerte wurden zuvor für alle Personen in einem Tabellenkalkulationsprogramm berechnet. Die Mittelwerte und die Standardabweichungen wurden mit R berechnet.

Wie in Abschnitt 3.6.3 beschrieben, wurde das Minimalziel in Kurs 3 anders als in den übrigen Kursen formuliert. Die Vermutung des Autors, dass sich dieser Unterschied in der Motivationsskala *Realitätsbezug/Authentizität* (RA) und dadurch auch in der Gesamtmotivation des Kurses 3 bemerkbar machen könnte, bestätigt sich durch den Vergleich der erhobenen Daten dieses Kurses mit den Daten der anderen Kurse (siehe Tabelle 8). Um die Testdaten der Studiengruppe differenzierter zu betrachten, sind daher in Tabelle 8 zusätzlich die Mittelwerte der Skalenwerte aller Subskalen der Motivation bei Vernachlässigung von Kurs 3 dargestellt. Diese Differenzierung der Studiengruppe wird im Folgenden für alle weiteren Betrachtungen von Mittelwerten der Motivationsskalen vorgenommen.

In Tabelle 9 sind die p-Werte und Effektstärken (Cohens δ) für beide Versuchsgruppen aufgeführt. Damit können Mittelwertunterschiede, die sich durch den Einfluss der Probestunden ergeben haben, beurteilt werden.

Im Anschluss werden die internen Konsistenzen der Motivationsskalen angeführt und die Skalenverläufe für beide Untersuchungsschwerpunkte, die sich aus Tabelle 8 ergeben, analysiert.

		Antwortmöglichkeiten: 1 - 7						Antwortmöglichkeiten: 0 - 5								
		Befindlichkeit vorher MW (SD)			Befindlichkeit nachher MW (SD)			Motivation vorher MW (SD)			Motivation Nachher MW (SD)					
Gruppe	Kurs	Kurstyp	PA	NA	VA	PA	NA	VA	Sk	IE	RA	Gesamt	Sk	IE	RA	Gesamt
SG	1	GK-Q1	3,55 (0,98)	3,08 (1,23)	4,43 (1,18)	4,07 (0,93)	3,12 (0,96)	4,9 (1,04)	3,27 (0,59)	1,62 (0,68)	2,21 (1,04)	2,47 (0,65)	3,14 (1,14)	1,62 (0,93)	2,61 (1,22)	2,55 (1,07)
KG	2	LK-Q1	4,17 (1,11)	3,15 (1,08)	4,58 (0,38)	4,79 (0,99)	3,21 (0,73)	5,42 (0,74)	3,88 (0,77)	3,06 (0,56)	2,5 (0,9)	3,31 (0,67)	4,07 (0,71)	2,77 (0,78)	3,27 (0,98)	3,56 (0,7)
SG	3	LK-Q1	4,07 (0,59)	3,2 (0,97)	4,55 (1,15)	3,75 (1,05)	2,89 (1,09)	4,68 (1,23)	3,84 (0,52)	3,08 (0,45)	3,59 (0,82)	3,66 (0,43)	3,39 (0,74)	2,64 (0,57)	3,1 (1,31)	3,07 (0,75)
SG	4	GK-Q1	3,98 (0,65)	2,7 (0,94)	5,07 (1,07)	4,13 (1,24)	3 (1,09)	5,04 (1,26)	2,8 (0,56)	1,16 (0,47)	2,25 (0,91)	2,17 (0,47)	3 (0,85)	1,54 (0,53)	3,29 (0,64)	2,7 (0,56)
KG	5	GK-Q1	4,41 (0,75)	2,57 (0,62)	5,64 (0,74)	4,84 (0,86)	2,41 (0,96)	5,75 (0,94)	3,13 (1,1)	2,21 (0,99)	2,4 (0,95)	2,7 (0,91)	3,53 (1,05)	1,88 (0,88)	3,18 (1,19)	2,98 (0,99)
SG	6	LK-Q1	4,3 (0,82)	2,92 (0,94)	5,11 (0,82)	5,13 (0,99)	2,65 (0,89)	5,65 (0,85)	3,65 (0,69)	2,96 (0,46)	3,27 (0,76)	3,43 (0,51)	4,02 (0,57)	2,92 (0,61)	3,75 (0,75)	3,73 (0,54)
KG	7	LK-Q3	3,84 (1,09)	3,04 (1,16)	4,71 (1,22)	3,7 (1,11)	2,75 (1,05)	4,64 (1,05)	3,23 (0,88)	2,54 (0,73)	1,89 (1,09)	2,72 (0,8)	3,33 (0,92)	2,44 (0,92)	2,66 (1,33)	2,95 (0,91)
KG	8	GK-Q1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SG	INSGESAMT		3,96 (0,82)	2,97 (1,02)	4,79 (1,08)	4,28 (1,15)	2,92 (0,99)	5,08 (1,13)	3,35 (0,7)	2,13 (0,98)	2,77 (1,06)	2,87 (0,81)	3,37 (0,93)	2,13 (0,91)	3,17 (1,07)	2,99 (0,88)
SG	INSGESAMT (ohne Kurs 3)								3,23 (0,69)	1,88 (0,93)	2,55 (1,02)	2,67 (0,76)	3,37 (0,99)	2 (0,94)	3,19 (1,02)	2,97 (0,92)
KG	INSGESAMT		4,13 (0,97)	2,87 (0,96)	5,07 (1,03)	4,36 (1,12)	2,69 (0,98)	5,24 (1,06)	3,31 (0,98)	2,5 (0,86)	2,21 (1,01)	2,81 (0,84)	3,54 (0,96)	2,27 (0,92)	2,98 (1,21)	3,07 (0,91)

Tabelle 8: Mittelwerte (MW) der Skalenwerte aller Subskalen für alle Kurse und die gesamten Versuchsgruppen; die Standardabweichungen (SD) stehen in Klammern

		Affektive Befindlichkeit			Motivation			
Gruppe	Koeffizient	PA	NA	VA	Sk	IE	RA	Gesamtmotivation
SG	p-Wert	0,022	0,637	0,044	0,867	0,988	0,007	0,243
	Cohens δ	0,325(*)	-0,065	0,284(*)	0,023	0,002	0,383(**)	0,162
SG (ohne Kurs 3)	p-Wert				0,174	0,194	9,42e-5	9,13e-4
	Cohens δ				0,214	0,204	0,668(**)	0,552(**)
KG	p-Wert	0,175	0,206	0,359	0,09	0,012	1,77e-5	0,013
	Cohens δ	0,238	-0,221	0,16	0,299	-0,458(*)	0,86(**)	0,453(*)

Tabelle 9: p-Werte und Effektstärken für den Einfluss der Probestunden beider Gruppen; 5%-signifikante Ergebnisse sind mit (*) und 1%-signifikante Ergebnisse sind mit (**) markiert

5.1. Testdaten zur Motivation

Die Daten aus Tabelle 8 und Tabelle 9 geben einen differenzierten Eindruck darüber, wie sich die Probestunde in den beiden Gruppen auf die Motivation der SuS ausgewirkt hat. In diesem Kapitel werden diese Daten bezüglich der einzelnen Subskalen analysiert und zur Verbesserung der Übersichtlichkeit graphisch aufbereitet. Außerdem wird durch die Betrachtung der internen Konsistenz eine Aussage über die Reliabilität der eingesetzten Skalen getroffen.

5.1.1. Analyse der internen Konsistenz der Skalen

Um Aussagen über die interne Konsistenz der Motivationsskalen zu treffen, wird der Koeffizient Cronbachs Alpha (α) mit Hilfe des Statistikprogramms R berechnet (vgl. Abschnitt 4.2.1). Da das Programm nur vollständige Datensätze für diese Berechnung berücksichtigt, ist in Tabelle 10 neben den Cronbachs Alphas auch die Anzahl der verwerteten Datensätze angegeben.

Fragebogen	Sk		IE		RA		Gesamtmotivation	
	#Datensätze	α	#Datensätze	α	#Datensätze	α	#Datensätze	α
Grundmotivation	85	0,86	84	0,87	83	0,89	78	0,93
Postmotivation	83	0,89	86	0,84	84	0,9	79	0,93

Tabelle 10: Interne Konsistenzen und Anzahl der verwendeten Datensätze aller Subskalen für beide Motivationsfragebögen

Tabelle 10 ist zu entnehmen, dass alle Reliabilitätskoeffizienten deutlich über der in Kapitel 4.2.1 geforderten Untergrenze von 0,7 liegen. Folglich werden alle Skalen beider eingesetzter Motivationsfragebögen als ausreichend reliabel betrachtet.

5.1.2. Motivationsverlauf der Subskala IE

Basierend auf den Mittelwerten und Standardabweichungen beider Versuchsgruppen, die Tabelle 8 entnommen sind, ist der zeitliche Verlauf der Ausprägung des Motivationsmerkmals *Intrinsische Motivation/Engagement* (IE) der beiden Messzeitpunkte vor beziehungsweise nach der Probestunde in Abbildung 19 graphisch dargestellt.

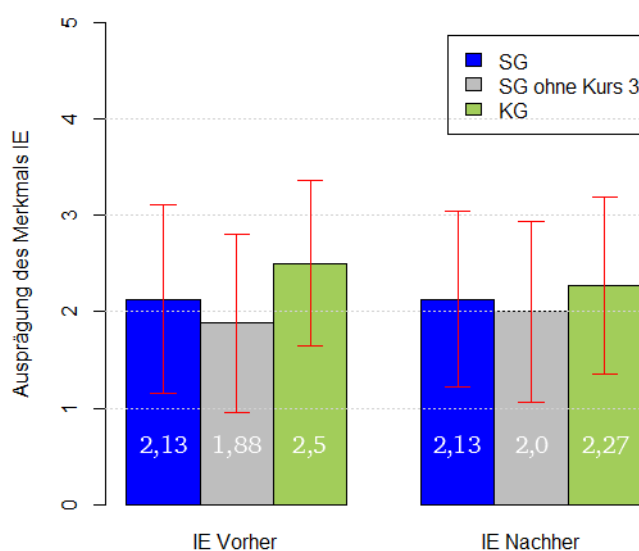


Abbildung 19: Ausprägung des Motivationsmerkmals IE vor und nach der gehaltenen Unterrichtsstunde; die Fehlerbalken stellen die Abweichungen vom Mittelwert um 1 Standardabweichung dar

Wie in Tabelle 9 zu erkennen ist, handelt es sich in der Studiengruppe - mit und ohne Berücksichtigung von Kurs 3 - um nicht signifikante positive Effektstärken. Die gesamte Studiengruppe weist eine sehr kleine Effektstärke ($\delta = 0,02$) mit einem äußerst hohen p-Wert von 0,988 auf. Ohne Berücksichtigung von Kurs 3 ist die Effektstärke klein ($\delta = 0,204$), mit einem p-Wert von 0,194.

Auf Grund der hohen p-Werte kann in beiden Fällen nicht von einem statistisch bedeutsamen Unterschied ausgegangen werden, der auf einen Einfluss der Probestunde zurückzuführen ist.

In der Kontrollgruppe ist eine signifikante (p-Wert = 0,012) kleine bis mittelgroße negative Effektstärke von $\delta = -0,458(*)$ zu verzeichnen.

Durch die niedrige Irrtumswahrscheinlichkeit (p-Wert) wird dieser Effekt der Probestunde zugeschrieben.

5.1.3. Motivationsverlauf der Subskala Sk

Der zeitliche Verlauf der Ausprägung des Motivationsmerkmals *Selbstkonzept* (Sk) ist durch die Mittelwerte und die dazugehörigen Standardabweichungen aus Tabelle 8 bestimmt und in Abbildung 20 visualisiert.

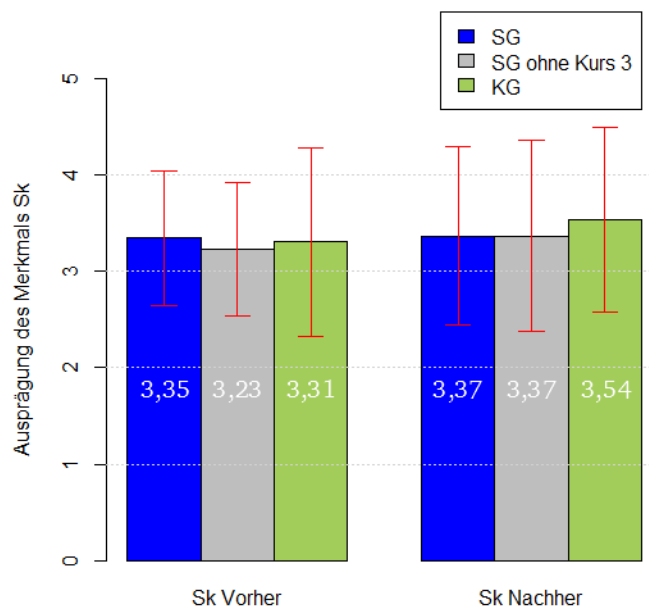


Abbildung 20: Ausprägung des Motivationsmerkmals Sk vor und nach der gehaltenen Unterrichtsstunde; die Fehlerbalken stellen die Abweichungen vom Mittelwert um 1 Standardabweichung dar

Keine der beiden Versuchsgruppen weist bezüglich der Subskala Sk eine signifikante Änderung durch die Probestunde auf (siehe Tabelle 9). Trotz der hohen Irrtumswahrscheinlichkeiten ist anzumerken, dass alle gemessenen Effektstärken positiv sind (vgl. Tabelle 9).

In der kompletten Studiengruppe ist ein sehr kleiner positiver Effekt von $\delta = 0,023$ mit einem p-Wert von 0,867 zu verzeichnen. Lässt man Kurs 3 außer Acht, beträgt die Effektstärke $\delta = 0,214$ bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von p-Wert = 0,174.

Die Effektstärke in der Kontrollgruppe beträgt $\delta = 0,299$; der Effekt ist folglich klein, positiv und nicht signifikant (p-Wert = 0,09).

Durch die hohen p-Werte wird in keiner Gruppe auf einen tatsächlichen Einfluss auf das Merkmal Sk durch die Probestunde geschlossen.

5.1.4. Motivationsverlauf der Subskala RA

Das Diagramm in Abbildung 21 zeigt die Ausprägung des Motivationsmerkmals *Realitätsbezug/Authentizität* (RA) in Bezug auf beide Messzeitpunkte. Die zugrunde liegenden Daten sind aus Tabelle 8 entnommen.

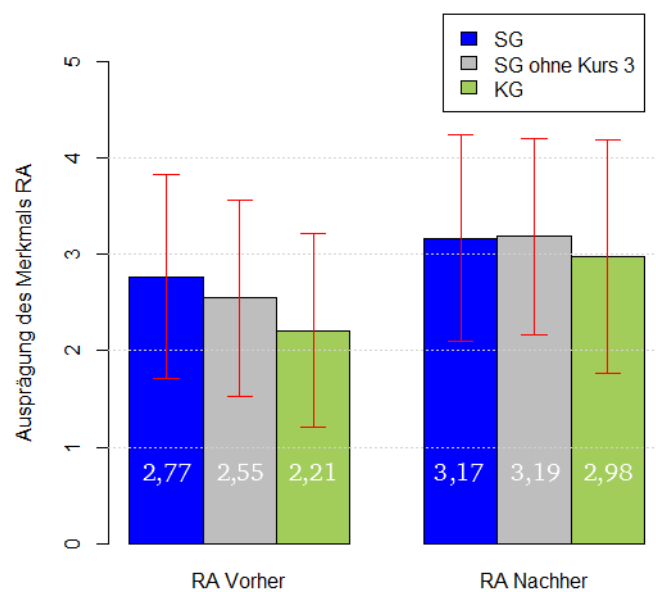


Abbildung 21: Ausprägung des Motivationsmerkmals RA vor und nach der gehaltenen Unterrichtsstunde; die Fehlerbalken stellen die Abweichungen vom Mittelwert um 1 Standardabweichung dar

Die Ergebnisse der Signifikanztests (vgl. Tabelle 9) signalisieren für alle drei Gruppenzusammensetzungen hochsignifikante positive Effekte.

In der gesamten Studiengruppe ist ein kleiner bis mittelgroßer Anstieg der mittleren Skalenwerte ($\delta = 0,383(**)$) festgehalten; der zugehörige p-Wert beträgt 0,007. Auch in dieser Subskala zeigt die Vernachlässigung von Kurs 3 einen beachtlichen Unterschied für die Studiengruppe. Der positive Effekt ist unter diesen Umständen mittelgroß bis stark ($\delta = 0,668(**)$) mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von p-Wert = $9,42 \cdot 10^{-5}$.

In der Kontrollgruppe ist der berechnete Effekt mit einer Effektstärke von $\delta = 0,86(**)$ stark positiv ausgeprägt und ebenfalls hochsignifikant (p-Wert = $1,77 \cdot 10^{-5}$).

Bedingt durch die äußerst kleinen p-Werte werden in beiden Versuchsgruppen tatsächliche Effekte der Probestunde auf die Ausprägung von RA angenommen.

5.1.5. Motivationsverlauf insgesamt

Der zeitliche Verlauf der *Gesamtmotivation* ist in Abbildung 22 graphisch abgebildet. Die Ausprägung der Motivation sowie die Standardabweichungen begründen sich auf Grundlage der Daten aus Tabelle 8.

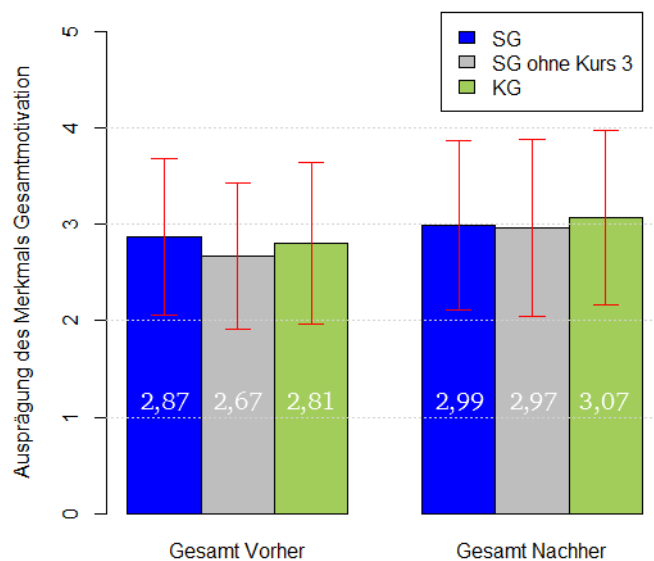


Abbildung 22: Ausprägung des Motivationsmerkmals Gesamtmotivation vor und nach der gehaltenen Unterrichtsstunde; die Fehlerbalken stellen die Abweichungen vom Mittelwert um 1 Standardabweichung dar

Gemäß der berechneten Koeffizienten aus Tabelle 9 ist in der gesamten Studiengruppe ein kleiner, nicht signifikanter (p-Wert = 0,243) positiver Mittelwertunterschied der Effektstärke $\delta = 0,162$ aufgetreten. Wird Kurs 3 nicht berücksichtigt, ergibt sich ein hochsignifikanter mittelgroßer positiver Effekt der Effektstärke $\delta = 0,552^{**}$; die Größe des zugehörigen p-Werts beträgt $9,13 \cdot 10^{-4}$.

Als Ergebnis der Signifikanztests wird in der Studiengruppe nur dann von einem hochsignifikanten Effekt durch die Probestunde ausgegangen, wenn Kurs 3 vernachlässigt wird.

In der Kontrollgruppe ist der Mittelwertunterschied mit einer positiven kleinen bis mittelgroßen Effektstärke von $\delta = 0,453(*)$ signifikant (p-Wert = 0,013).

Durch seine Signifikanz wird der besagte Effekt als Resultat der Probestunde betrachtet.

5.2. Testdaten zur affektiven Befindlichkeit

Um die Resultate der Testergebnisse bezüglich der affektiven Befindlichkeit anschaulich darzustellen, werden in diesem Kapitel die mittleren Skalenergebnisse aller Subskalen mit den jeweiligen Standardabweichungen für beide Versuchsgruppen (aus Tabelle 8) in Form von Diagrammen visualisiert. Mit Hilfe der Koeffizienten aus Tabelle 9 werden die Mittelwertunterschiede zu den beiden Messzeitpunkten bezüglich ihrer Größe und Signifikanz beurteilt.

Bei den Effekten in Bezug auf die affektive Befindlichkeit werden keine gesonderten Daten aufgezeigt, die aus der Vernachlässigung von Kurs 3 entstehen. Der Autor erwartet von der in Abschnitt 3.6.3 erklärten Abänderung des Minimalziels zwar einen Einfluss auf einzelne Motivationsmerkmale, jedoch nicht explizit auf die affektive Befindlichkeit.

In einer Unterrichtsstunde können unterschiedlichste Situationen das Befinden von SuS sowohl positiv als auch negativ beeinflussen. Daher wird der hinzugefügte Ausblick am Stundenende auf die Nützlichkeit des piezoelektrischen Effekts im Alltag für die Ergebnisse des affektiven Befindlichkeitszustands von SuS als vergleichsweise unbedeutsam eingeschätzt.

5.2.1. Befindlichkeitsverlauf der Subskala PA

Die Ausprägung der Subskala *Positive Aktivierung* (PA) vor und nach der Probestunde ist für beide Versuchsgruppen auf Grundlage der Daten aus Tabelle 8 in Abbildung 23 graphisch dargestellt.

Aus Tabelle 9 wird ersichtlich, dass in der Studiengruppe ein signifikanter (p-Wert = 0,022) kleiner bis mittelgroßer positiver Effekt bezüglich des Merkmals PA aufgetreten ist. Der Schätzer der Effektstärke liefert den Wert $\delta = 0,325(*)$.

Aus der geringen Größe des p-Werts folgt die fundierte Annahme, dass der positive Effekt auf PA tatsächlich auf der Probestunde begründet ist.

In der Kontrollgruppe handelt es sich um einen kleinen positiven Effekt der Effektstärke $\delta = 0,238$. Dieser ist auf Grund der Irrtumswahrscheinlichkeit von p-Wert = 0,175 nicht signifikant.

Dadurch wird der positive Effekt in der Kontrollgruppe nicht auf die Probestunde zurückgeführt, sondern auf zufällige Messschwankungen.

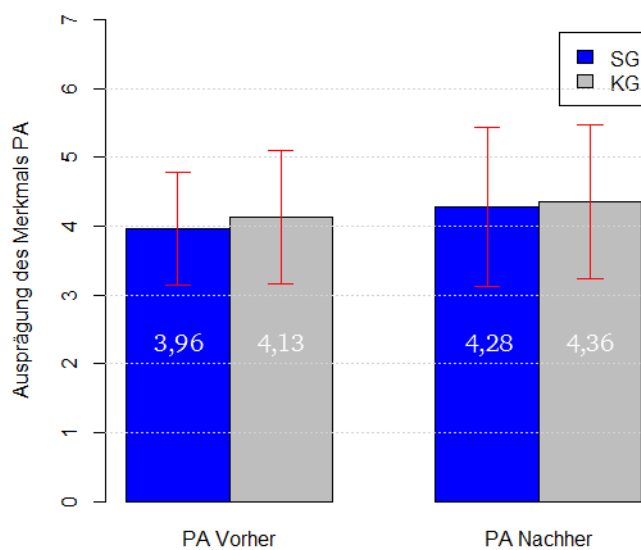


Abbildung 23: Ausprägung des Befindlichkeitsmerkmals PA vor und nach der gehaltenen Unterrichtsstunde; die Fehlerbalken stellen die Abweichungen vom Mittelwert um 1 Standardabweichung dar

5.2.2. Befindlichkeitsverlauf der Subskala NA

Das Diagramm in Abbildung 24 visualisiert auf der Grundlage von Tabelle 8 den zeitlichen Verlauf der Ausprägung des Befindlichkeitsmerkmals *Negative Aktivierung* (NA).

In beiden Versuchsgruppen ist ein Abfall der negativen Aktivierung zu erkennen, der jedoch in beiden Gruppen nicht signifikant ist.

Gemäß Tabelle 9 ist der Effekt in der Studiengruppe sehr klein ($\delta = -0,065$) bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von p-Wert = 0,637.

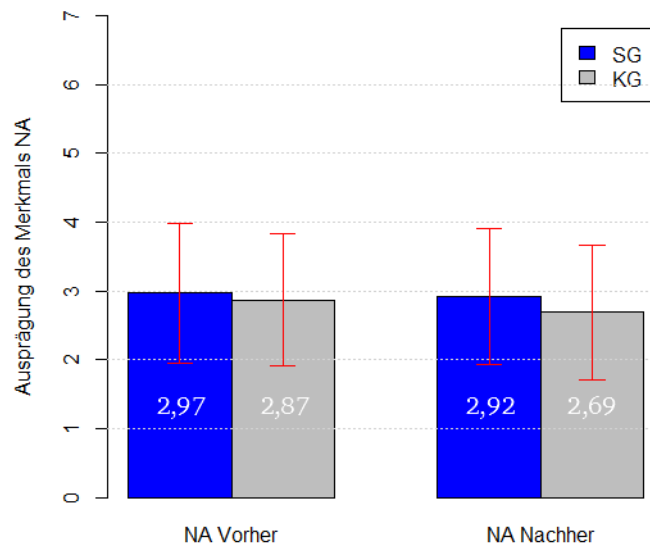


Abbildung 24: Ausprägung des Befindlichkeitsmerkmals NA vor und nach der gehaltenen Unterrichtsstunde; die Fehlerbalken stellen die Abweichungen vom Mittelwert um 1 Standardabweichung dar

In der Kontrollgruppe ist eine kleine Effektstärke von $\delta = -0,221$ zu erkennen. Der Signifikanztest liefert einen p-Wert von 0,206.

Die Ergebnisse beider Versuchsgruppen lassen folglich keine Schlüsse auf einen Effekt durch die Probestunde zu.

5.2.3. Befindlichkeitsverlauf der Subskala VA

In Abbildung 25 ist die Ausprägung des Befindlichkeitsmerkmals *Valenz* (VA) vor und nach der Probestunde dargestellt. Das Diagramm beruht auf den Daten aus Tabelle 8.

Mit einem p-Wert von 0,044 handelt es sich bei der Studiengruppe um einen signifikanten, kleinen und positiven Effekt ($\delta = 0,284(*)$).

Daraus wird ein tatsächlicher positiver Einfluss der Probestunde auf die Studiengruppe geschlussfolgert.

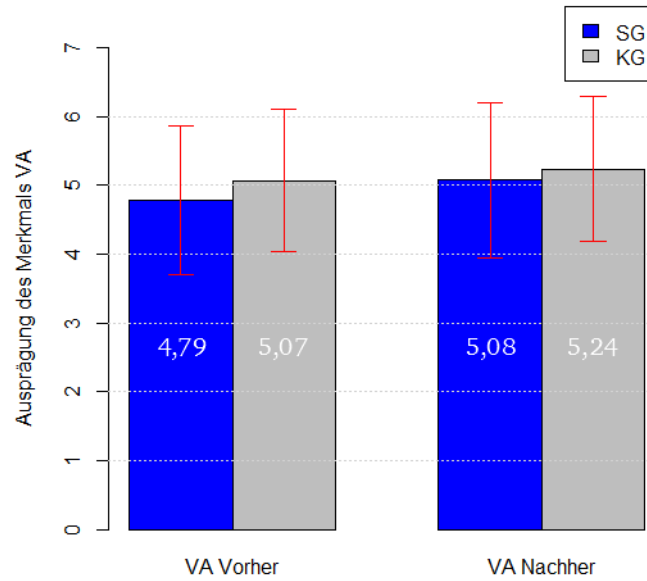


Abbildung 25: Ausprägung des Befindlichkeitsmerkmals VA vor und nach der gehaltenen Unterrichtsstunde; die Fehlerbalken stellen die Abweichungen vom Mittelwert um 1 Standardabweichung dar

Die Kontrollgruppe weist zwischen den Zeitpunkten vor und nach der Probestunde keinen statistisch bedeutsamen Unterschied bezüglich VA auf. Die Irrtumswahrscheinlichkeit (p-Wert) für den beobachteten kleinen positiven Effekt ($\delta = 0,16$) beträgt 0,359.

Durch den hohen p-Wert wird kein signifikanter Einfluss der Probestunde angenommen.

6. Diskussion der Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der durchgeführten Studie (siehe Kapitel 5) für beide Versuchsgruppen analysiert. Der daraus abgeleitete Einfluss des iPad-Einsatzes der Lehrkraft auf die Motivation und die affektive Befindlichkeit von SuS wird diskutiert. Dabei wird der zu erwartende Neuigkeitseffekt, der in Abschnitt 2.1 erläutert wurde, für die Betrachtung der Ergebnisse nicht weiter berücksichtigt. Da in beiden Versuchsgruppen mit neuen Medien gearbeitet wurde, trat dieser Effekt zu einem gewissen Grad in beiden Versuchsgruppen auf. Wie stark er in den verschiedenen Lerngruppen ausgeprägt ist, kann jedoch nicht ermittelt werden, da keine Informationen über die Langzeitwirkung der eingesetzten Medien verfügbar sind.

6.1. Ergebnisse des Einflusses der Probestunde auf die Motivation

Die Auswertung der erhobenen Daten zeigt, dass die Unterrichtsstunde in der Studiengruppe, in der die Lehrkraft ein iPad verwendete, keinen signifikanten Einfluss auf die Motivationsmerkmale *Selbstkonzept* (Sk) und *Intrinsische Motivation/Engagement* (IE) hat. In der Kontrollgruppe, in der kein iPad verwendet wurde, wird bezüglich des Faktors Sk ebenfalls kein signifikanter Einfluss gemessen. Beim Merkmal IE hingegen ist in der Kontrollgruppe eine kleine bis mittelgroße signifikante Verringerung der durchschnittlichen Ausprägung aufgetreten. Obwohl der mittlere Skalenswert der Subskala IE in der Studiengruppe nicht eindeutig gestiegen ist, ist der Einsatz des iPads auf Grund der Verringerung des mittleren Skalenswerts in der Kontrollgruppe als positiv zu bewerten.

Die Ergebnisse des Merkmals *Realitätsbezug/Authentizität* (RA) weisen in beiden Versuchsgruppen hochsignifikante Steigerungen auf. Während dieser Effekt in der Kontrollgruppe stark ist, zeigt er sich in der Studiengruppe nur klein bis mittelgroß. Lässt man Kurs 3 außer Acht (vgl. Abschnitt 5), ist die positive Veränderung in der Studiengruppe mittelgroß bis stark. Folglich konnte mit der iPad-gestützten Unterrichtsstunde ein positiver Effekt bezüglich RA bei den SuS hervorgerufen werden, jedoch mit schwächerem Erfolg als in der Unterrichtsstunde ohne iPad.

Die *Gesamtmotivation* wurde durch die Unterrichtsstunde in der Kontrollgruppe signifikant leicht bis mittelstark gesteigert. In der Studiengruppe hängt die Bedeutsamkeit der Ergebnisse davon ab, ob Kurs 3 berücksichtigt wird. Bezieht man ihn mit ein, tritt durch die iPad-gestützte Unterrichtsstunde kein signifikanter Unterschied auf, wodurch diese Variante im Vergleich zur Kontrollgruppe schlechter abschneidet.

Lässt man Kurs 3 außer Acht, lässt sich eine mittelgroße Verbesserung der *Gesamtmotivation* feststellen, die auf einem 1%-Niveau signifikant ist. In diesem Fall verbucht die Intervention in der iPad-gestützten Versuchsgruppe einen etwas größeren Erfolg als in den Kursen, in denen alternative neue Medien eingesetzt wurden.

Durch die Vernachlässigung von Kurs 3 unterscheiden sich die Interventionen in den beiden Versuchsgruppen - abgesehen von den eingesetzten Unterrichtsmedien - weniger systematisch voneinander. Somit sind die Effekte der Unterrichtsstunden in den beiden Versuchsgruppen besser miteinander vergleichbar. Deshalb sind die Resultate unter Vernachlässigung von Kurs 3 eindeutiger auf den Medieneinsatz zu begründen, wodurch sie für die weiteren Schlussfolgerungen ins Zentrum rücken.

Unter Berücksichtigung der *Gesamtmotivation* und aller drei Subskalen wird geschlussfolgert, dass der Einsatz eines iPads im Physikunterricht einen mindestens ebenso positiven Effekt auf die Motivation von SuS der Sekundarstufe II bewirken kann wie der Einsatz anderer neuer Medien. Tendenziell lässt sich durch den iPad-Einsatz eine leicht verbesserte Motivation der SuS in der Sekundarstufe II erreichen.

6.2. Ergebnisse des Einflusses der Probestunde auf die affektive Befindlichkeit

Aus den Tests der affektiven Befindlichkeit wird ersichtlich, dass die Kontrollgruppe in keiner der Subskalen signifikante Veränderungen aufweist. Dementsprechend hat die Unterrichtsstunde, in der kein iPad eingesetzt wurde, die Befindlichkeit der SuS nicht beeinflusst.

In der Studiengruppe wird lediglich bezüglich des Befindlichkeitsmerkmals *Negative Aktivierung* (NA) kein Unterschied festgestellt. Folglich spielt es im Physikunterricht für die negative Aktivierung von SuS keine Rolle, ob ein iPad eingesetzt wird.

Die *Valenz* (VA) konnte durch die Unterrichtsstunde mit iPad-Einsatz in geringem Umfang signifikant verbessert werden. Demzufolge waren die SuS der Studiengruppe - im Gegensatz zu den SuS der Kontrollgruppe - nach der Probestunde im Durchschnitt zufriedener als zuvor.

Eine deutlichere Verbesserung im Vergleich zur *Valenz* zeigte sich bei der *positiven Aktivierung* (PA) der SuS. In diesem Bereich wurde in der Studiengruppe eine kleine bis mittelgroße signifikante Erhöhung des Gruppenmittelwerts gemessen. Auch bei diesem Merkmal unterscheiden sich die Kurse, in denen die Unterrichtsstunde mit iPad gehalten wurde, positiv von denen, in denen andere neue Medien verwendet wurden.

Insgesamt lässt sich also auf Grund der empirischen Daten schließen, dass die Verwendung eines iPads durch die Lehrkraft einen geringfügig positiveren Einfluss auf den affektiven Befindlichkeitszustand hat, als der Einsatz anderer Unterrichtsmedien. Insbesondere die erhöhte positive Aktivierung der SuS in der Studiengruppe spricht für eine verbesserte Lernatmosphäre durch den Einsatz eines iPads.

7. Zusammenfassung und Kritik

Im Rahmen der vorliegenden Wissenschaftlichen Hausarbeit wurde eine prospektiv kontrollierte Studie ohne Randomisierung geplant, vorbereitet und durchgeführt. Ziel der Studie war die empirische Erforschung der Wirkung einer Unterrichtsstunde über den piezoelektrischen Effekt auf die Motivation und die affektive Befindlichkeit von SuS im Physikunterricht der Sekundarstufe II. In der Unterrichtsstunde wurde ein Tablet-PC als Unterrichtsmedium verwendet.

Zu diesem Zweck wurde vom Autor in 4 Physikkursen eine Unterrichtsstunde gehalten, in der von ihm ein iPad verwendet wurde. Zum Vergleich wurde in 3 weiteren Physikkursen eine Unterrichtsstunde mit alternativen neuen Medien durchgeführt.

Die Vorbereitung gestaltete sich aufwändiger, als im Vorfeld erwartet. Es stellte sich heraus, dass bei der Zusammenarbeit mit Schulen viele terminliche Einschränkungen entstehen, wodurch bei der Planung einer solchen Studie ein großzügiges Zeitfenster für Schulbesuche eingeplant werden sollte. Abgesehen von der Erprobungsstunde in Kurs 8, die letztendlich wegen Terminproblemen seitens der Schule nicht stattfinden konnte, war die Organisation der Studie erfolgreich und führte zu ausreichend vielen Daten, um eine aussagekräftige Auswertung zu gewährleisten.

Die Durchführung der Erprobungsstunden verlief in keinen Physikkursen identisch. Da es sich bezüglich der Verteilung der Leistungsfähigkeit, des Engagements und der individuellen fachspezifischen Vorgeschichte um höchst unterschiedliche Lerngruppen handelte, waren Unterschiede im Unterrichtsverlauf zu erwarten. Die Erfahrungen, welche bei der wiederholten Durchführung derselben Unterrichtsstunde gesammelt wurden, führten zu einer veränderten Sichtweise auf mögliche Problemstellen innerhalb des Unterrichtsverlaufs, wodurch sich das Lehrerverhalten unwillkürlich veränderte.

Da diese Schwankungen der Unterrichtsverläufe in beiden Versuchsgruppen auftraten, wird angenommen, dass dadurch nur geringe Veränderun-

gen der Resultate entstanden sind. Gemäß dem starken Gesetz der großen Zahlen (vgl. Eckle-Kohler & Kohler, 2009, S. 155) verteilen sich Abweichungen der realen Intervention von der Idealvorstellung, die mit gleicher Wahrscheinlichkeit in allen Kursen auftreten, immer gleichmäßiger auf beide Versuchsgruppen, je mehr Lerngruppen in die Studie einbezogen werden. Als Folge dieser Überlegung wäre es für eine objektive Auswertung von Vorteil, die Probestunde in noch zahlreicheren Physikkursen durchzuführen. In Anbetracht der begrenzten Zeit, die zum Verfassen der vorliegenden Arbeit zur Verfügung stand, war dies jedoch nicht möglich.

Die Unterrichtsstunde zum piezoelektrischen Effekt, die im Rahmen dieser Untersuchung geplant und durchgeführt wurde, erfüllte ihren Zweck sehr gut.

Der Verlauf der beiden Unterrichtsvarianten mit und ohne Tablet-Einsatz ist, wie geplant, sehr eng miteinander verbunden. Der größte Unterschied zwischen den Unterrichtsstunden ist im Medieneinsatz zu sehen; beide Varianten fördern gemäß den Ergebnissen der erhobenen Daten das Interesse und das Wohlbefinden der SuS.

Die ursprüngliche Planung der Unterrichtsstunden wies allerdings einige Schwächen auf. Aus diesem Grund mussten im Verlauf der Durchführung verschiedene Details der Stundenplanung verändert werden; dabei handelte es sich um Anpassungen, die den SuS das Verständnis des Unterrichtsgegenstands erleichtern sollten. Da die methodischen Veränderungen in beiden Versuchsgruppen gleichermaßen umgesetzt wurden, sollten sie die Studienresultate nur gering beeinflusst haben.

Das Zeitmanagement bereitete die komplette Studie hindurch Probleme. Die Zeit für diverse Phasen war im Vorfeld zu knapp bemessen, wodurch - insbesondere in leistungsschwächeren Kursen - die vorgesehene Dauer von 45 Minuten überschritten wurde. Durch die Einbettung aller Probestunden in Doppelstunden entstand jedoch für keinen Physikkurs ein Nachteil.

Die Methoden, die zur Erhebung und zur Auswertung der Daten gewählt wurden, haben sich durchgehend bewährt. Alle Schritte der Datenerfas-

sung und -auswertung konnten gemäß der beschriebenen Planung durchgeführt werden.

Für die Beantwortung der in Kapitel 2.4 formulierten Forschungsfragen muss die Frage aufgeworfen werden, ob die empirischen Ergebnisse dieser Studie allgemein für Tablet-PCs gültig sind, obwohl die Probestunden ausschließlich mit dem iPad der Firma Apple durchgeführt wurden.

Die Gründe, warum in der vorliegenden Studie gerade ein iPad eingesetzt worden ist, sind hauptsächlich in den Eigenschaften eines solchen Geräts begründet, die es einer Lehrkraft vereinfachen, einen ganzen Schultag damit gestalten zu können. Dazu zählen vor allem die lange Akkulaufzeit, die zuverlässige Bildschirmübertragung und verhältnismäßig wenige Problemquellen für den Anwender (vgl. Abschnitt 3.2). In dieser Studie besteht die gewählte Intervention jedoch nur aus einer einzigen Unterrichtsstunde pro Physikkurs. Zur medialen Gestaltung der Unterrichtsstunde, die im Rahmen der vorliegenden Untersuchung mit Hilfe eines iPads durchgeführt wurde, können für alle in Kapitel 3.4 aufgeführten Verwendungszwecke auch andere Tablettypen - insbesondere Windows- und Androidtablets - eingesetzt werden.

Folglich sind die Ergebnisse dieser Studie prinzipiell für Tablet-PCs anwendbar.

Unter diesen Voraussetzungen können die Forschungsfragen (siehe Kapitel 2.4) empirisch beantwortet werden:

FF 1. *Mit welchen Skalen können, unter Gewährleistung einer hinreichenden Testgüte, die Konstrukte der Schülermotivation und der affektiven Befindlichkeit von SuS erhoben werden?*

Zur Erfassung der Schülermotivation wurde in der vorliegenden Studie eine abgewandelte Form der Motivationsskalen von Prof. Dr. Jochen Kuhn verwendet. Die Art der Abwandlung der besagten Items ist in Abschnitt 4.1.2.2 erläutert. Aus diesen Veränderungen resultierte zum einen ein Fragebogen zur Erfassung der grundsätzlichen medienbegründeten Motivation

im Physikunterricht (siehe Anhang D) und zum anderen ein Fragebogen, um im Besonderen die Motivation in der Probestunde zu erheben (siehe Anhang E).

Mit Hilfe der erhobenen Daten wurde für alle Subskalen der Schülermotivation die Interne Konsistenz ermittelt, indem der Koeffizient Cronbachs Alpha berechnet wurde. Daraus ergab sich für alle Subskalen beider Motivationsfragebögen eine hohe Reliabilität (vgl. Abschnitt 5.1.1). Auf Grund der Tatsache, dass in der vorliegenden Arbeit einzig die Reliabilität zur Beurteilung der Testgüte betrachtet wird (vgl. Abschnitt 4.1.2.2), ist die Testgüte der eingesetzten Motivationsskalen akzeptabel.

Zur Erhebung der affektiven Befindlichkeit wurden die PANAVA-KS von Prof. Dr. Urs Schallberger unverändert verwendet (siehe Anhang F). Da Schallberger über diese Skalen bereits ausreichend viele Informationen bezüglich der Testgüte ermittelte (vgl. Abschnitt 4.1.3.1), ist deren Testgüte ohne weitere Überprüfung akzeptabel.

FF 2. *Lässt sich durch eine Unterrichtsstunde, in der die Lehrkraft einen Tablet-PC zur medialen Gestaltung verwendet, die Motivation von SuS im Physikunterricht der Sekundarstufe II anders beeinflussen als durch eine Unterrichtsstunde, in der die Lehrkraft andere neue Medien verwendet?*

Aus den Ergebnissen dieser Untersuchung folgt, dass sowohl mit als auch ohne Tablet-Einsatz eine statistisch bedeutsame Steigerung der Gesamtmotivation der SuS durch die durchgeführten Unterrichtsstunden zum piezoelektrischen Effekt hervorgerufen werden konnte (vgl. Kapitel 6.1). Im Vergleich der beiden Versuchsgruppen zeigen sich bei der einzelnen Betrachtung der Subskalen der Motivation weder einheitliche noch eindeutige Unterschiede.

Es wird jedoch aus den in Kapitel 6.1 beschriebenen Ergebnissen dieser Untersuchung insgesamt geschlussfolgert, dass sich der Einsatz eines Tablet-PCs etwas besser auf die Schülermotivation auswirkt, als der Einsatz anderer neuer Medien.

FF 3. *Lässt sich durch eine Unterrichtsstunde, in der die Lehrkraft einen Tablet-PC zur medialen Gestaltung verwendet, die affektive Befindlichkeit von SuS im Physikunterricht der Sekundarstufe II anders beeinflussen als durch eine Unterrichtsstunde, in der die Lehrkraft andere neue Medien verwendet?*

Wie in Kapitel 6.2 beschrieben, konnte mit der Unterrichtsstunde ohne Tablet-Einsatz keine statistisch bedeutsame Veränderung der affektiven Befindlichkeit der SuS bewirkt werden. Die Tablet-gestützte Unterrichtsstunde dagegen bewirkte eine kleine signifikante Steigerung der Valenz sowie eine kleine bis mittelgroße signifikante Verbesserung der positiven Aktivierung der SuS.

Aus diesen Gegebenheiten wird aus den vorliegenden empirischen Untersuchungsergebnissen geschlossen, dass sich der Einsatz eines Tablet-PCs durch die Lehrkraft positiver auf den affektiven Befindlichkeitszustand von SuS auswirkt, als der Einsatz anderer neuer Medien.

Mit den Ergebnissen dieser Studie ist gezeigt, dass der Einsatz eines Tablet-PCs durch die Lehrkraft mindestens dieselben und tendenziell positivere Auswirkungen auf die Motivation und die affektive Befindlichkeit von SuS im Physikunterricht der Sekundarstufe II hat, als der Einsatz anderer neuer Medien.

Es ist zu anzu merken, dass in der vorliegenden Untersuchung die Wirkung des Tableteinsatzes mit der Wirkung von etablierten modernen Unterrichtsmedien, wie zum Beispiel einem Laptop, verglichen wurde. Folglich geben die Resultate der Untersuchung eindeutige Hinweise darauf, dass Tablet-PCs ernstzunehmende Endgeräte zur medialen Gestaltung des Schulunterrichts darstellen.

Ergänzend zu den in Kapitel 2.2 erläuterten Möglichkeiten, die der Einsatz von Tablet-PCs für den Physikunterricht eröffnet, stellt sich der reflektierte Einsatz der Geräte im Physikunterricht als außergewöhnlich rentabel heraus.

8. Ausblick

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung geben statistisch bedeutsame Hinweise darauf, dass der Einsatz von Tablet-PCs durch die Lehrkraft einen positiven Einfluss auf das Unterrichtsklima hat. Die SuS fühlen sich durch den vorgelebten Einsatz des Tablets durch die Lehrkraft wohl, und sie empfinden das Medium als motivierende Stütze des Unterrichts. Dementsprechend erweist es sich als sinnvoll, im Sinne der fortschreitenden technologischen Anforderungen, die an die heutige Jugend gestellt werden (vgl. Kapitel 1 und 2.1), diese neue Klasse der digitalen Endgeräte in den Schulunterricht zu integrieren.

Es ist allerdings noch unklar, inwiefern der Neuigkeitseffekt die unterschiedlichen Versuchsgruppen in der vorliegenden Studie beeinflusst hat (vgl. Kapitel 6). Mit diesem Thema kann eine Folgestudie direkt an die vorliegende Untersuchung anknüpfen, die die Langzeitwirkung des unterschiedlichen Medieneinsatzes durch die Lehrkraft auf die Motivation und die affektive Befindlichkeit von SuS untersucht.

Weiterhin ist der Einfluss eines Unterrichtsmediums auf die Leistungsfähigkeit von SuS ein wichtiges Merkmal für die Effektivität des Medieneinsatzes. Daher ist es von großem wissenschaftlichen Interesse, die Leistungsentwicklung von Physikkursen, in denen die Lehrkraft ausschließlich mit einem Tablet-PC arbeitet, mit Physikkursen, in denen alternative Unterrichtsmedien verwendet werden, zu vergleichen.

Ein weiterer möglicher Untersuchungsgegenstand ist außerdem der Einfluss von Tablet-PCs auf den tatsächlichen Unterrichtsverlauf und - damit verbunden - auf die Aufmerksamkeit der SuS. Unter diesem Gesichtspunkt könnten Methoden der Videoanalyse Aufschluss darüber geben, zu welchem Zeitpunkt die SuS dem Unterricht folgen, wann sie sich aktiv am Unterricht beteiligen und wann sie tendenziell abgelenkt sind. Auch diese Facetten eines Tablet-gestützten Physikunterrichts können mit einem traditionellen Physikunterricht verglichen werden, in dem kein Tablet-PC eingesetzt wird.

In der langen Tradition der technologischen Entwicklung von Schule und Gesellschaft wandelte sich der Schulunterricht und die Unterrichtsmedien, die diesem zur Verfügung standen, immerzu. Tablet-PCs sind derzeit auf dem besten Weg, diese Tradition fortzuführen.

Wie bei all diesen Veränderungen sind die Sinnhaftigkeit und der Nutzen, den ihr zukünftige Generationen zuschreiben werden, ungewiss. Ein grundlegender Gedanke aus den Schriften des Naturwissenschaftlers Georg Christoph Lichtenberg (1742 - 1799) lässt sich ideal auf diese Situation übertragen:

„Ich kann freilich nicht sagen, ob es besser werden wird wenn es anders wird; aber so viel kann ich sagen, es muß anders werden, wenn es gut werden soll.“

(Albel et al., 2011)

Wissenschaftlic

9. Literaturverzeichnis

- Albel, U., Hasenbeck, P., Jarisch, C., Kaltenmark, B., Schubert, P., Teichmann, K., Trelinska-Finger, A., Vennebusch, B., Heerde, H. J. (2011). *Auswahl aus Lichtenbergs Sudelbüchern. K 293*. Abgerufen am 08. 02 2015 von Lichtenberg-Gesellschaft e.V. Darmstadt: http://www.lichtenberggesellschaft.de/leben/1_wirk_sudel_02.html#sudelbuch_k
- Apple Inc. (2014). *AirPlay*. Abgerufen am 27.11.2014 von Apple: <https://www.apple.com/de/airplay/>
- Bill, B. (2002). *Messen mit Kristallen. Grundlagen und Anwendungen der piezoelektrischen Messtechnik*. Landsberg, Lech: Verlag Moderne Industrie.
- BITKOM. (2014). *Jung und vernetzt. Kinder und jugendliche in der digitalen Gesellschaft*. Berlin: BITKOM.
- Bühner, M. (2006). *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion*. München: Pearson Studium.
- Demtröder, W. (2009). *Experimentalphysik 2, Elektrizität und Optik*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Deutscher Bundestag. (2013). Sechster Zwischenbericht der Enquete-Kommission "Internet und digitale Gesellschaft". Bildung und Forschung.
- Eckle-Kohler, J. & Kohler, M. (2009). *Eine Einführung in die Statistik und ihre Anwendungen*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Falissard, B. (02.07.2014). *Package "Psy"*. Abgerufen am 13.12.2014 von [cran.r-project.org](http://cran.r-project.org/web/packages/psy/psy.pdf): <http://cran.r-project.org/web/packages/psy/psy.pdf>
- Feierabend, S., Plankenhorn, T. & Rathgeb, T. (2014). *JIM 2014. Jugend, Information, (Multi-) Media. Basisstudie zum Medieumgang 12- bis 19-Jähriger in Deutschland*. Stuttgart: Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest.
- Gautschi, G. & Tichý, J. (1980). *Piezoelektrische Meßtechnik. Physikalische Grundlagen. Kraft-, Druck- und Beschleunigungsaufnehmer. Verstärker*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Ginger Labs, Inc. (17.09.2014). *Notability (Version 5.26)*. Abgerufen am 27.11.2014 von iTunes: <https://itunes.apple.com/de/app/notability/id360593530?mt=8>

-
- Groebel, J. & Wiedermann, J. (2012). *Digitale Lernwerkzeuge. Eine Metastudie der BSP Business School Berlin Potsdam*. Potsdam: BSP Business School Berlin Potsdam.
- Hessisches Kultusministerium. (2010). *Lehrplan Physik. Gymnasialer Bildungsgang. Jahrgangsstufen 6G bis 9G und gymnasiale Oberstufe*.
- Hirth, M. (kein Datum). *NET: iAcoustics*. Abgerufen am 30.11.2014 von TU Kaiserslautern: <http://www.physik.uni-kl.de/kuhn/forschung/imp-immobile-physics/net-iacoustics/>
- Hochberg, K. (kein Datum). *NET: iMechanics*. Abgerufen am 30.11.2014 von TU Kaiserslautern: <http://www.physik.uni-kl.de/kuhn/forschung/imp-immobile-physics/net-imechanics/>
- Hunklinger, S. (2011). *Festkörperphysik*. München: Oldenbourg Verlag.
- Internationales GeoGebra Institut. (08.11.2013). *GeoGebra (Version 4.3.58)*. Abgerufen am 27.11.2014 von iTunes: <https://itunes.apple.com/de/app/geogebra/id687678494?mt=8>
- Internationales GeoGebra Institut. (08.09.2014). *GeoGebra jetzt in 3D*. Abgerufen am 05.12.2014 von GeoGebra: <http://community.geogebra.org/de/2014/09/geogebra-goes-3d-3/>
- Internationales GeoGebra Institut. (kein Datum). *GeoGebraTube*. Abgerufen am 01.01.2015 von GeoGebra: <http://tube.geogebra.org/>
- Kerres, M. (2003). Wirkungen und Wirksamkeit neuer Medien in der Bildung. In R. K. Keill-Slawik, & M. Kerres, *Education Quality Forum 2002. Wirkungen und Wirksamkeit neuer Medien*. Münster: Waxmann.
- Klein, P. & Gröber, S. (kein Datum). *physics.move*. Abgerufen am 30.11.2014 von TU Kaiserslautern: <http://www.physik.uni-kl.de/kuhn/forschung/imp-immobile-physics/net-physicsmove/>
- Kuhn, J. (2009). *Authentische Aufgaben im theoretischen Rahmen von Instruktions- und Lehr-Lern-Forschung. Effektivität und Optimierung von Ankermedien für eine neue Aufgabenkultur im Physikunterricht. Habilitationsschrift*. Landau: Natur- und Umweltwissenschaften der Universität Koblenz-Landau.
- Kuhn, J. & Müller, A. (2014). Smartphones, Tablets & Co.: Theorie, Konzeptionen und Untersuchungsergebnisse. In S. B. (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung zwischen Science- und Fachunterricht. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in München 2013*. Kiel: IPN.

-
- Kultusministerkonferenz. (2005). Bildungsstandards im Fach Physik für den mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004. München, Neuwied: Luchterhand.
- Kultusministerkonferenz. (2012). Medienbildung in der Schule. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 8. März 2012.
- Ludwig, L. (01.03.2013). *Ergebnisse*. Abgerufen am 30.11.2014 von Luise Ludwig: <http://www.luise-ludwig.de/tabletprojekte/ergebnisse/>
- Meschede, D. (2010). *Gerthsen Physik*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Meyer, H. (2011). *Unterrichtsmethoden II. Praxisband*. Berlin: Cornelsen Verlag.
- Moosbrugger, H. & Kelava, A. (2012). *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- PASCO. (04.01.2012). *Basic Electrometer. ES-9078A*. Abgerufen am 27.11.2014 von PASCO: http://www.pasco.com/file_downloads/product_manuals/Basic-Electrometer-Manual-ES-9078A.pdf
- PASCO. (kein Datum). *PASPORT AirLink 2*. Abgerufen am 27.11.2014 von PASCO: http://www.pasco.com/prodCatalog/PS/PS-2010_pasport-airlink-2/
- PASCO scientific. (21. 08 2014). *SPARKvue HD (Version 2.1.134)*. Abgerufen am 27.11.2014 von iTunes: <https://itunes.apple.com/de/app/sparkvue-hd/id552527324?mt=8>
- Raith, W. (2006). *Elektromagnetismus*. Berlin: de Gruyter.
- Rasch, B., Friese, M., Hofmann, W. & Naumann, E. (2010). *Quantitative Methoden 1. Einführung in die Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Reinders, H., Ditton, H., Gräsel, C. & Gniewosz, B. (2011). *Empirische Bildungsforschung. Strukturen und Methoden*. Wiesbaden: VS Verlag.
- Schallberger, U. (2005). *Kurzskalen zur Erfassung der Positiven Aktivierung, Negativen Aktivierung und Valenz in Experience Sampling Studien (PANAVA-KS). Theoretische und methodische Grundlagen, Konstruktvalidität, und psychometrische Eigenschaften bei der Beschreibung intra- und interindividueller Unterschiede*. Forschungsberichte aus dem Projekt "Qualität des Erlebens in Arbeit und Freizeit", Nr. 6. Zürich: Fachrichtung Angewandte Psychologie des Psychologischen Instituts der Universität.

-
- Schartel, C. (29.07.2014). *Tablets: Akkulaufzeit-Vergleich*. Abgerufen am 30.11.2014 von CNET: <http://www.cnet.de/88134131/tablets-akkulaufzeit-vergleich/>
- Schmidt, H. (21.07.2003). *Klassifikation von Merkmalen/Kenngrößen/Variablen*. Abgerufen am 01.02.2015 von Uni Ulm: <http://www.mathematik.uni-ulm.de/stochastik/lehre/ss03/wirtschaftsstatistik/skript9/node5.html>
- Seibt, R. (27.09.2013). *Bild- und Videoübertragung zum TV-Gerät via WLAN*. Abgerufen am 05.12.2014 von PC Magazin: <http://www.pcmagazin.de/ratgeber/miracast-test-technik-streaming-wlan-tipps-1545479.html>
- Selukoff, Y. (13.11.2014). *GoodReader (Version 4.7.0)*. Abgerufen am 07.12.2014 von iTunes: <https://itunes.apple.com/de/app/goodreader/id777310222?mt=8>
- Swiss-Development GmbH. (10.12.2012). *AirPresenter (Version 1.1)*. Abgerufen am 27.11.2014 von iTunes: <https://itunes.apple.com/de/app/airpresenter/id460808681?mt=8>
- Tulodziecki, G., Herzig, B. & Grafe, S. (2010). *Medienbildung in Schule und Unterricht. Grundlagen und Beispiele*. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.
- Wagenschein, M. (1992). *Verstehen lehren*. Weinheim, Basel: Beltz Verlag.
- Wollschläger, D. (2012). *Grundlagen der Datenanalyse mit R. Eine anwendungsorientierte Einführung*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- WU Wien, Institute for Statistics and Mathematics (kein Datum). *The R Project for Statistical Computing*. Abgerufen am 20.12.2014 von r-project: <http://www.r-project.org/>

10. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einheitszelle eines trigonalen Bravais-Gitters; der dunkle Gitterpunkt symbolisiert die Zugehörigkeit zu dieser Einheitszelle, während die hellen Gitterpunkte zu den angrenzenden Einheitszellen gerechnet werden.....	22
Abbildung 2: Vereinfachte Atomanordnung im α -Quarz; in Schwarz sind polare Achsen eingezeichnet	22
Abbildung 3: Volumenelement im kartesischen Koordinatensystem; die Farbe einer Seitenfläche entspricht der Farbe der Koordinatenachse, in dessen Richtung die Flächennormale zeigt	23
Abbildung 4: Deformation einer Strukturzelle entlang einer polaren Achse: a) vor der Deformation; b) nach der Deformation.....	26
Abbildung 5: Polarisation eines Dielektrikums; die Ladungen in den gelben Bereichen neutralisieren sich gegenseitig. Im roten und im blauen Bereich bilden sich Polarisationsladungen aus.....	27
Abbildung 6: Deformation einer Strukturzelle senkrecht zu einer polaren Achse: a) vor der Deformation; b) nach der Deformation.....	31
Abbildung 7: Richtung der Krafteinwirkung F , der Deformation und der Polarisation P beim longitudinalen Schubeffekt	32
Abbildung 8: Mechanische Reihenschaltung und elektrische Parallelschaltung mehrerer Kristallscheiben; die grünen Punkte zeigen die Leitungsendpunkte zum Ladungsabgriff	33
Abbildung 9: Kristall mit günstigen Ausmaßen für den transversalen piezoelektrischen Effekt; die grünen Punkte sind die Leitungsendpunkte zum Ladungsabgriff.....	34
Abbildung 10: Piezokristall für den Versuch der Hypothesenprüfung: a) im Kunststoffgehäuse zur Kompression, mit Buchsen zur Ladungsabnahme; b) ohne Kunststoffgehäuse, mit angebrachten Elektroden.....	40
Abbildung 11: Versuchsskizze der Hypothesenprüfung	41
Abbildung 12: Visualisierung der Schwerpunktkonstruktion eines Dreiecks	43
Abbildung 13: Animation des transversalen piezoelektrischen Effekts; Ausschnitt eines Screenshots aus <i>GeoGebra 5.0</i>	45
Abbildung 14: Animation des longitudinalen piezoelektrischen Effekts; Ausschnitt eines Screenshots aus <i>GeoGebra 5.0</i>	45

Abbildung 15: Plattenspieler; Tonabnehmer können piezoelektrisch arbeiten.....	46
Abbildung 16: Quarzuhr; der Taktgeber besteht aus einem schwingenden Quarzkristall.....	46
Abbildung 17: Spiegelreflexkamera; der Autofokus wird durch einen piezoelektrisch arbeitenden Ultraschallmotor angetrieben	46
Abbildung 18: Strukturzellen im polarisierten Kristall	48
Abbildung 19: Ausprägung des Motivationsmerkmals IE vor und nach der gehaltenen Unterrichtsstunde; die Fehlerbalken stellen die Abweichungen vom Mittelwert um 1 Standardabweichung dar.....	89
Abbildung 20: Ausprägung des Motivationsmerkmals Sk vor und nach der gehaltenen Unterrichtsstunde; die Fehlerbalken stellen die Abweichungen vom Mittelwert um 1 Standardabweichung dar.....	90
Abbildung 21: Ausprägung des Motivationsmerkmals RA vor und nach der gehaltenen Unterrichtsstunde; die Fehlerbalken stellen die Abweichungen vom Mittelwert um 1 Standardabweichung dar.....	91
Abbildung 22: Ausprägung des Motivationsmerkmals Gesamtmotivation vor und nach der gehaltenen Unterrichtsstunde; die Fehlerbalken stellen die Abweichungen vom Mittelwert um 1 Standardabweichung dar.....	92
Abbildung 23: Ausprägung des Befindlichkeitsmerkmals PA vor und nach der gehaltenen Unterrichtsstunde; die Fehlerbalken stellen die Abweichungen vom Mittelwert um 1 Standardabweichung dar.....	94
Abbildung 24: Ausprägung des Befindlichkeitsmerkmals NA vor und nach der gehaltenen Unterrichtsstunde; die Fehlerbalken stellen die Abweichungen vom Mittelwert um 1 Standardabweichung dar.....	95
Abbildung 25: Ausprägung des Befindlichkeitsmerkmals VA vor und nach der gehaltenen Unterrichtsstunde; die Fehlerbalken stellen die Abweichungen vom Mittelwert um 1 Standardabweichung dar.....	96

11. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Tabellarischer Unterrichtsverlauf der Stunde mit iPad-Einsatz	49
Tabelle 2: Tabellarischer Unterrichtsverlauf der Stunde ohne iPad-Einsatz	52
Tabelle 3: Überblick über die Kurse der Stichprobe.....	54
Tabelle 4: Itemzahlen und interne Konsistenzen der einzelnen Skalen nach Kuhn.....	71
Tabelle 5: Beschreibung der eingesetzten Subskalen zur Bestimmung der Motivation.....	74
Tabelle 6: Empirische Korrelationen zwischen den PANAVA-Dimensionen	76
Tabelle 7: Itemzahlen und interne Konsistenzen der PANAVA-KS.....	77
Tabelle 8: Mittelwerte (MW) der Skalenwerte aller Subskalen für alle Kurse und die gesamten Versuchsgruppen; die Standardabweichungen (SD) stehen in Klammern	87
Tabelle 9: p-Werte und Effektstärken für den Einfluss der Probestunden beider Gruppen; 5%-signifikante Ergebnisse sind mit (*) und 1%- signifikante Ergebnisse sind mit (**) markiert.....	88
Tabelle 10: Interne Konsistenzen und Anzahl der verwendeten Datensätze aller Subskalen für beide Motivationsfragebögen	88

12. Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
AkadOR	Akademischer Oberrat
ESM	Experience Sampling Method - Befragungsmethode
FF	Forschungsfrage
Gym	Gymnasium
GK	Grundkurs
HDMI	High Definition Multimedia Interface – Schnittstellenstandard zur Übertragung multimedialer Daten
IE	Intrinsische Motivation/Engagement
KG	Kontrollgruppe
KGS	Kooperative Gesamtschule
KS	Kurzskalen
LK	Leistungskurs
MW	Mittelwert
NA	Negative Aktivierung
PA	Positive Aktivierung
Prof. Dr.	Professor Doktor

Abkürzung	Erläuterung
Q1	Qualifikationsphase 1 - 1. Halbjahr der 11. Jahrgangsstufe im achtjährigen Gymnasialgang
Q3	Qualifikationsphase 3 - 1. Halbjahr der 12. Jahrgangsstufe im achtjährigen Gymnasialgang
RA	Realitätsbezug/Authentizität
SD	Standardabweichung
SG	Studiengruppe
Sk	Selbstkonzept
SoS	Schülerin oder Schüler
SuS	Schülerinnen und Schüler
VA	Valenz
VGA	Video Graphics Array - Bildschirmübertragungsstandard
WLAN	Wireless Local Area Network - Standard für lokale Funknetzwerke

13. Symbolverzeichnis

Symbol/ Formelzeichen	Erläuterung	Abgeleitete SI-Einheit
A	Flächeninhalt einer Kristallfläche	m^2
$c_{\mu\lambda}$	Elastizitätsmoduln	Pa
d	Betrag des Abstands positiver und negativer Ladungsschwerpunkte	m
$d_{i\mu}$	Piezoelektrische Koeffizienten	$\frac{C}{N}$
\vec{d}	Tensor der piezoelektrischen Koeffizienten	$\frac{C}{N}$
D_i	Komponenten der elektrischen Flussdichte	$\frac{C}{m^2}$
\vec{E}	Elektrische Feldstärke	$\frac{V}{m}$
E	Betrag der Elektrischen Feldstärke	$\frac{V}{m}$
\vec{F}	Kraft	N
F	Betrag einer Kraft	N
\vec{P}	Elektrische Polarisierung eines Dielektrikums	$\frac{C}{m^2}$
P	Betrag der elektrischen Polarisierung	$\frac{C}{m^2}$
P	Betrag des elektrischen Dipolmoments	$C \cdot m$
Q	Ladungsmenge	C
\vec{S}	Deformationstensor	1
S_{ij}, S_λ	Komponenten des Deformationstensors – Darstellung in Tensor- und Doppelindizes bzw. Matrixeindeizes	1
S_N	Betrag der Deformation in Normalenrichtung	1
\vec{T}	Mechanischer Spannungstensor	Pa

Symbol/ Formelzeichen	Erläuterung	Abgeleitete SI-Einheit
T_{ik}, T_{μ}	Komponenten des mechanischen Spannungstensors – Darstellung in Tensor- und Matrixeindeizes	Pa
T_N	Betrag der Normalspannung	Pa
U	Elektrische Spannung	V
ϵ_0	Dielektrizitätskonstante $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{C}{V \cdot m}$	$\frac{C}{V \cdot m}$
σ_{pol}	Flächenladungsdichte der Polarisationsladungen	$\frac{C}{m^2}$

14. Anhang

Anhang A: Arbeitsblatt für die Unterrichtsstunden.....	119
Anhang B: Skalen zur Erhebung der allgemeinen Motivation im Physikunterricht nach Kuhn.....	120
Anhang C: Skalen zur Erhebung der aktuellen Motivation im Physikunterricht nach Kuhn.....	122
Anhang D: Fragebogen zur Erhebung der allgemeinen Motivation im Physikunterricht.....	124
Anhang E: Fragebogen zur Erhebung der aktuellen Motivation im Physikunterricht.....	127
Anhang F: Fragebogen zur Erhebung der affektiven Befindlichkeit.....	130
Anhang G: Einverständniserklärung zur Erstellung und Verwendung von Filmmaterial von SuS.....	132
Anhang H: Einverständniserklärung zur Erstellung und Verwendung von Filmmaterial vom Autor.....	133

Arbeitsblatt für die Unterrichtsstunden

Der piezoelektrische Effekt am Quarzkristall – Datum

Quarzkristalle weisen eine vereinfachte Gitterstruktur auf, wie sie in Abbildung 1 dargestellt ist. Ihre chemische Summenformel lautet SiO_2 . Dabei steht ein roter Punkt (+) für ein Siliciumatom und ein blauer Punkt (-) für ein Sauerstoffatom. Die Vorzeichen deuten an, welche Atome in Folge unterschiedlicher Elektronegativitäten Teil-ladungen tragen.

Die schwarz eingezeichneten Symmetrieachsen nennt man „polare Achsen“.

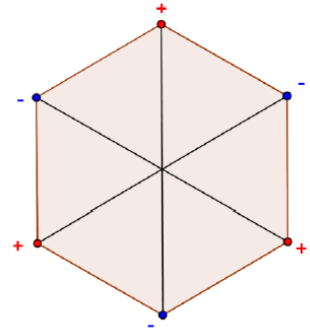


Abbildung 1: Gitterstrukturzelle von Quarz.

Aufgabe 1: Konstruieren Sie in Abbildung 1 die Schwerpunkte der positiven und negativen Teilla-dungen. Was bedeutet das für die Polarisation einer einzelnen Gitterstrukturzelle?

Aufgabe 2: Gemäß den Abbildungen 2 und 3 wird die Gitterstrukturzelle durch Krafteinwirkung entlang einer polaren Achse sowie senkrecht dazu verformt. Konstruieren Sie auch hier die geometrischen Schwerpunkte der positiven und negativen Teilladungen. Wo ergeben sich Polarisationsladungen an den Gitterstrukturzellen? Wie können Sie sich nun die gemessenen Spannungen aus dem Versuch erklären?

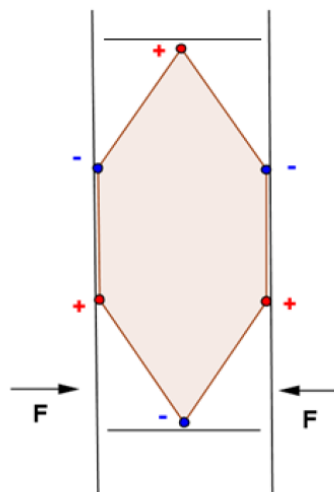


Abbildung 3: Transversaler direkter Piezoeffekt.

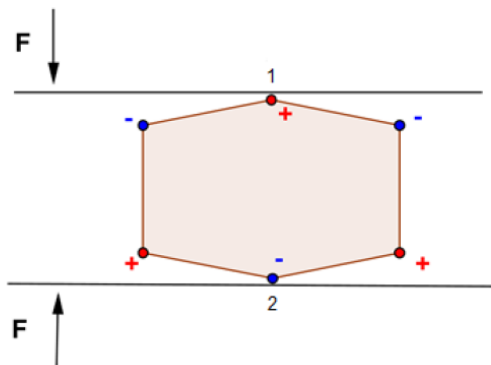


Abbildung 2: Longitudinaler direkter Piezoeffekt.

Aufgabe 3: Welches Verhalten erwarten Sie, wenn Sie jetzt in Abbildung 2 eine Gleichspannung derart an den Kristall anlegen, dass der Minuspol am Punkt 1 und der Pluspol am Punkt 2 anliegt? _____

Anhang B

Skalen zur Erhebung der allgemeinen Motivation im Physikunterricht nach Kuhn. Quelle: Kuhn, 2009, S. 305f.

Sk1: Physikunterricht macht Spaß.

RA2: Die Aufgaben, die wir im Physikunterricht bearbeiten, sind im Alltag hilfreich.

Sk3: Der Unterrichtsstoff in Physik ist für mich verständlich.

IE4: Ich schaue zu Hause in Büchern, im Internet oder ähnlichem nach, um mehr zu Themen aus dem Physikunterricht zu erfahren.

Sk5: Meine Leistungen in Physik sind nach meiner eigenen Einschätzung gut.

Sk6: Ich beteilige mich aktiv am Physikunterricht

RA7: Die Aufgaben, die wir im Physikunterricht bearbeiten, sind auf den Alltag bezogen.

Sk8: Ich erwarte, dass meine Leistungen in Physik in Zukunft gut sein werden.

IE9: In meiner Freizeit beschäftige ich mich auch über die Hausaufgaben hinaus mit Themen, die mit Physik zu tun haben.

RA10: Die Themen (Unterrichtsstoff) aus dem Physikunterricht sind hilfreich für das tägliche Leben.

Sk11: Es gelingt mir stets, die Aufgaben im Physikunterricht zu lösen.

Sk12: Ich freue mich auf den Physikunterricht.

RA13: Die Aufgaben im Physikunterricht sind für Dinge interessant, mit denen ich außerhalb der Schule zu tun habe.

Sk14: Ich bin im Physikunterricht konzentriert.

IE15: Ich strenge mich in Physik mehr an als in anderen Fächern.

RA16: Was wir im Physikunterricht lernen, ist im Alltag nützlich.

IE17: Ein physikalisches Problem zu lösen, macht mir Spaß.

Sk18: Durch die Aufgaben in Physik kann ich das behandelte Thema verstehen.

IE19: Ich spreche oft mit Freunden, Eltern oder Geschwistern über Dinge aus dem Physikunterricht.

IE20: Physik ist mein Lieblingsfach.

RA21: Im Physikunterricht geht es um Dinge, die mit dem täglichen Leben zu tun haben.

Sk22: Ich glaube, dass mich die anderen Schüler in meiner Klasse für gut in Physik halten.

IE23: Mir gefällt unser Physikunterricht.

RA24: Die Themen (Unterrichtsstoff) im Physikunterricht sind für Dinge interessant, mit denen ich außerhalb der Schule zu tun habe.

IE25: Wenn ich mich mit einem physikalischen Problem beschäftige, kann es passieren, dass ich gar nicht merke, wie die Zeit verfliegt.

RA26: Die Aufgaben, die wir im Physikunterricht bearbeiten, sind nützlich für das tägliche Leben.

Anhang C

Skalen zur Erhebung der aktuellen Motivation im Physikunterricht nach Kuhn. Quelle: Kuhn, 2009, S. 307f.

Sk1: Die letzten Physikstunden haben Spaß gemacht.

RA2: Die Aufgaben, die wir in den letzten Physikstunden bearbeiteten, sind im Alltag hilfreich.

Sk3: Der Unterrichtsstoff der letzten Physikstunden war für mich verständlich.

IE4: Ich schaue zu Haus in Büchern, im Internet oder ähnlichem nach, um mehr zu Themen aus den letzten Physikstunden zu erfahren.

Sk5: Meine Leistungen in letzten Physikstunden waren nach meiner eigenen Einschätzung gut

Sk6: Ich habe mich aktiv an den letzten Physikstunden beteiligt.

RA7: Die Aufgaben, die wir in den letzten Physikstunden bearbeiteten, waren auf den Alltag bezogen.

Sk8: Ich erwarte, dass meine Leistungen in Physik in Zukunft gut sein werden.

IE9: In meiner Freizeit beschäftige ich mich auch über die Hausaufgaben hinaus mit Themen, die mit den letzten Physikstunden zu tun haben.

RA10: Die Themen (Unterrichtsstoff) aus den letzten Physikstunden sind hilfreich für das tägliche Leben.

Sk11: Es gelang mir stets, die Aufgaben in den letzten Physikstunden zu lösen.

Sk12: Ich habe mich auf die letzten Physikstunden gefreut.

RA13: Die Aufgaben in den letzten Physikstunden sind für Dinge interessant, mit denen ich außerhalb der Schule zu tun habe.

Sk14: Ich war in den letzten Physikstunden konzentriert.

IE15: Ich habe mich in den letzten Physikstunden mehr angestrengt als in anderen Fächern.

RA16: Was wir in den letzten Physikstunden gelernt haben, ist im Alltag nützlich.

IE17: Ein physikalisches Problem zu lösen, macht mir Spaß.

Sk18: Durch die Aufgaben in den letzten Physikstunden konnte ich das behandelte Thema verstehen.

IE19: Ich sprach oft mit Freunden, Eltern oder Geschwistern über Dinge aus den letzten Physikstunden.

IE 20: Physik ist mein Lieblingsfach.

RA21: In den letzten Physikstunden ging es um Dinge, die mit dem täglichen Leben zu tun haben.

Sk22: Ich glaube, dass mich die anderen Schüler in meiner Klasse in den letzten Physikstunden für gut hielten.

IE23: Mir haben die letzten Physikstunden gefallen.

RA24: Die Themen (Unterrichtsstoff) in den letzten Physikstunden sind für Dinge interessant, mit denen ich außerhalb der Schule zu tun habe.

IE25: Wenn ich mich mit einem physikalischen Problem beschäftige, kann es passieren, dass ich gar nicht merke, wie die Zeit verfliegt.

RA26: Die Aufgaben, die wir in den letzten Physikstunden bearbeiteten, sind nützlich für das tägliche Leben.

Anhang D

Fragebogen zur Erhebung der allgemeinen Motivation im Physikunterricht

Fragebogen zur Motivation im Physikunterricht - Datum

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

mit diesem Fragebogen möchte ich herausfinden, wie motivierend Sie den bisherigen Physikunterricht fanden und wie der Einsatz von Medien diese Entwicklung dabei unterstützt hat. Mit „Medieneinsatz“ ist hier der Einsatz sämtlicher Materialien, Gegenstände oder Geräte gemeint, deren Zweck die Bereicherung oder das Voranbringen des Unterrichts ist.

Dabei gibt es keine besonders gute oder schlechte Art zu antworten. Wichtig ist für mich lediglich, welchen Eindruck Sie ganz persönlich vom Fach Physik haben. Die Antworten, die Sie geben, werden durchweg vertraulich behandelt. Alle Daten werden ausschließlich innerhalb der Forschung verwendet und statistisch zusammengefasst. Dadurch sind keine Rückschlüsse auf einzelne Personen möglich. Ihre Antworten verschaffen Ihnen demnach weder Vor- noch Nachteile.

Um jedoch nachvollziehen zu können, welche der verschiedenen Befragungen von derselben Person beantwortet wurden, möchte ich Sie bitten, den folgenden Personalisierungscode einzutragen:

Codename: _____ - _____ - _____

Die **ersten beiden** Buchstaben des Vornamens Ihres **Vaters** – Der **Tag** Ihres Geburtstages (z.B.: 16.11.1997 → 16) – Die **ersten beiden** Buchstaben des Vornamens Ihrer **Mutter**

Geschlecht: Männlich Weiblich

Im folgenden Fragebogen werden Ihnen Fragen gestellt mit Antwortmöglichkeiten von 0% bis 100%. Kreuzen Sie bitte an, zu wie viel Prozent Sie der vorgegebenen Aussage zustimmen. Entscheiden Sie sich bitte stets für die Antwortmöglichkeit, die Ihnen am meisten zusagt, auch wenn Ihr genauer Zustimmungsanteil nicht vorgegeben ist.

Dabei bedeutet:

0%: Die Aussage trifft für mich oder meinen Physikunterricht überhaupt nicht zu.

100%: Die Aussage trifft voll und ganz für mich oder meinen Physikunterricht zu.

Fragebogen zur Motivation im Physikunterricht - Datum

Zu diesem Anteil stimme ich der Aussage zu.

1	Physikunterricht macht Spaß.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
2	Der Medieneinsatz fördert die Anschaulichkeit von physikalischen Zusammenhängen, die im Alltag hilfreich sind.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
3	Ich kann Phänomene aus dem Physikunterricht stets beschreiben und erklären.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
4	Ich schaue zu Hause in Büchern, im Internet oder ähnlichem nach, um mehr zu Themen aus dem Physikunterricht zu erfahren.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
5	Meine Leistungen in Physik sind nach meiner eigenen Einschätzung gut.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
6	Ich beteilige mich aktiv am Physikunterricht.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
7	Der Medieneinsatz erhöht den Alltagsbezug von physikalischen Sachverhalten.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
8	Ich erwarte, dass meine Leistungen in Physik in Zukunft gut sein werden.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
9	In meiner Freizeit beschäftige ich mich auch über die Hausaufgaben hinaus mit Themen, die mit Physik zu tun haben.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
10	Die Themen (Unterrichtsstoff) aus dem Physikunterricht sind hilfreich für das tägliche Leben.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
11	Es gelingt mir stets, die Aufgaben im Physikunterricht zu lösen.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
12	Ich freue mich auf den Physikunterricht.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
13	Der Medieneinsatz macht physikalische Sachverhalte interessanter, mit denen ich auch außerhalb der Schule zu tun habe.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
14	Ich bin im Physikunterricht konzentriert.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
15	Ich strenge mich in Physik mehr an als in anderen Fächern.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
16	Was wir im Physikunterricht lernen, ist im Alltag nützlich.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
17	Ein physikalisches Problem zu lösen macht mir Spaß.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
18	Durch den Medieneinsatz fühle ich mich sicherer im Umgang mit dem behandelten Thema.	0% 20% 40% 60% 80% 100%

Fragebogen zur Motivation im Physikunterricht - Datum

Zu diesem Anteil stimme ich der Aussage zu.

19	Ich spreche oft mit Freunden, Eltern oder Geschwistern über Themen aus dem Physikunterricht.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
20	Physik ist mein Lieblingsfach.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
21	Im Physikunterricht werden Themen angesprochen, die mit dem täglichen Leben zu tun haben.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
22	Ich glaube, dass mich die anderen Schüler in meiner Klasse für gut in Physik halten.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
23	Mir gefällt unser Physikunterricht.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
24	Die Themen (Unterrichtsstoff) im Physikunterricht umfassen interessante Bereiche, mit denen ich auch außerhalb der Schule zu tun habe.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
25	Wenn ich mich mit einem physikalischen Problem beschäftige, kann es passieren, dass ich gar nicht merke, wie die Zeit verfliegt.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
26	Der Medieneinsatz ist nützlich, um physikalische Aspekte des täglichen Lebens näher kennen zu lernen.	0% 20% 40% 60% 80% 100%

Fragebogen zur Erhebung der aktuellen Motivation im Physikunterricht

Fragebogen #2 zur Motivation im Physikunterricht - Datum

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

mit diesem Fragebogen möchte ich herausfinden, wie motivierend Sie die vergangene Physikstunde fanden und wie der Einsatz von Medien diese Entwicklung dabei unterstützt hat. Mit „Medieneinsatz“ ist hier der Einsatz sämtlicher Materialien, Gegenstände oder Geräte gemeint, deren Zweck die Bereicherung oder das Voranbringen des Unterrichts ist.

Dabei gibt es keine besonders gute oder schlechte Art zu antworten. Wichtig ist für mich lediglich, welchen Eindruck Sie ganz persönlich vom Fach Physik haben. Die Antworten, die Sie geben, werden durchweg vertraulich behandelt. Alle Daten werden ausschließlich innerhalb der Forschung verwendet und statistisch zusammengefasst. Dadurch sind keine Rückschlüsse auf einzelne Personen möglich. Ihre Antworten verschaffen Ihnen demnach weder Vor- noch Nachteile.

Um jedoch nachvollziehen zu können, welche der verschiedenen Befragungen von derselben Person beantwortet wurden, möchte ich Sie bitten, den folgenden Personalisierungscode einzutragen:

Codename: _____ - _____ - _____

Die **ersten beiden** Buchstaben des Vornamens Ihres **Vaters** – Der **Tag** Ihres Geburtstages (z.B.: 16.11.1997 → 16) – Die **ersten beiden** Buchstaben des Vornamens Ihrer **Mutter**

Geschlecht: Männlich Weiblich

Im folgenden Fragebogen werden Ihnen Fragen gestellt mit Antwortmöglichkeiten von 0% bis 100%. Kreuzen Sie bitte an, zu wie viel Prozent Sie der vorgegebenen Aussage zustimmen. Entscheiden Sie sich bitte stets für die Antwortmöglichkeit, die Ihnen am meisten zusagt, auch wenn Ihr genauer Zustimmungsanteil nicht vorgegeben ist.

Dabei bedeutet:

0%: Die Aussage trifft für mich oder meinen Physikunterricht überhaupt nicht zu.

100%: Die Aussage trifft voll und ganz für mich oder meinen Physikunterricht zu.

Fragebogen #2 zur Motivation im Physikunterricht - Datum

Zu diesem Anteil stimme ich der Aussage zu.

1	Die letzte Physikstunde hat Spaß gemacht.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
2	Der Medieneinsatz der letzten Stunde förderte die Anschaulichkeit von physikalischen Zusammenhängen, die im Alltag hilfreich sind.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
3	Ich kann Phänomene aus der letzten Physikstunde beschreiben und erklären.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
4	Ich schaue zu Hause in Büchern, im Internet oder ähnlichem nach, um mehr zu dem Thema aus der letzten Physikstunde zu erfahren.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
5	Meine Leistungen in der letzten Physikstunde sind nach meiner eigenen Einschätzung gut.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
6	Ich habe mich aktiv an der letzten Physikstunde beteiligt.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
7	Der Medieneinsatz der letzten Physikstunde erhöhte den Alltagsbezug von physikalischen Sachverhalten.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
8	Ich erwarte, dass meine Leistungen in Physik in Zukunft gut sein werden.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
9	In meiner Freizeit beschäftige ich mich auch über die Hausaufgaben hinaus mit Themen, die mit der letzten Physikstunde zu tun haben.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
10	Die Themen (Unterrichtsstoff) aus der letzten Physikstunde sind hilfreich für das tägliche Leben.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
11	Es gelang mir stets, die Aufgaben der letzten Physikstunde zu lösen.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
12	Ich habe mich auf die letzte Physikstunde gefreut.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
13	Der Medieneinsatz der letzten Physikstunde machte physikalische Sachverhalte interessanter, mit denen ich auch außerhalb der Schule zu tun habe.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
14	Ich war in der letzten Physikstunde konzentriert.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
15	Ich habe mich in der letzten Physikstunde mehr angestrengt als in anderen Fächern.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
16	Was wir in der letzten Physikstunde gelernt haben, ist im Alltag nützlich.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
17	Ein physikalisches Problem zu lösen macht mir Spaß.	0% 20% 40% 60% 80% 100%

Fragebogen #2 zur Motivation im Physikunterricht - Datum

Zu diesem Anteil stimme ich der Aussage zu.

18	Durch den Medieneinsatz der letzten Physikstunde fühle ich mich sicherer im Umgang mit dem behandelten Thema.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
19	Ich werde mit Freunden, Eltern oder Geschwistern über Dinge aus der letzten Physikstunde sprechen.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
20	Physik ist mein Lieblingsfach.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
21	In der letzten Physikstunde werden Themen angesprochen, die mit dem täglichen Leben zu tun haben.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
22	Ich glaube, dass mich die anderen Schüler in meiner Klasse in der letzten Physikstunde für gut hielten.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
23	Mir hat die letzte Physikstunde gefallen.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
24	Die Themen (Unterrichtsstoff) der letzten Physikstunde umfassen interessante Bereiche, mit denen ich außerhalb der Schule zu tun habe.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
25	Wenn ich mich mit einem physikalischen Problem beschäftige, kann es passieren, dass ich gar nicht merke, wie die Zeit verfliegt.	0% 20% 40% 60% 80% 100%
26	Der Medieneinsatz der letzten Physikstunde war nützlich, um physikalische Aspekte des täglichen Lebens näher kennen zu lernen.	0% 20% 40% 60% 80% 100%

Fragebogen zur Erhebung der affektiven Befindlichkeit

Fragebogen zur affektiven Befindlichkeit - Datum

Liebe Schülerin, lieber Schüler,
mit diesem Fragebogen möchte ich herausfinden, wie Sie sich zu diesem Zeitpunkt fühlen. Dabei gibt es keine besonders gute oder schlechte Art zu antworten. Wichtig ist für mich lediglich, Ihre individuelle Befindlichkeit zu erfassen. Die Antworten, die Sie geben, werden durchweg vertraulich behandelt. Alle Daten werden ausschließlich innerhalb der Forschung verwendet und statistisch zusammengefasst. Dadurch sind keine Rückschlüsse auf einzelne Personen möglich. Ihre Antworten verschaffen Ihnen demnach weder Vor- noch Nachteile. Um jedoch nachvollziehen zu können, welche der verschiedenen Befragungen von derselben Person beantwortet wurden, möchte ich Sie bitten, den folgenden Personalisierungscode einzutragen:

Codename: _____ - _____ - _____

Die **ersten beiden** Buchstaben des Vornamens Ihres **Vaters** – Der **Tag** Ihres Geburtstages (z.B.: 16.11.1997 → 16) – Die **ersten beiden** Buchstaben des Vornamens Ihrer **Mutter**

Geschlecht: Männlich Weiblich

Die Befragung findet vor der Teststunde nach der Teststunde statt.

Im folgenden Fragebogen werden Ihnen Fragen gestellt, bei denen Sie sich zwischen zwei entgegengesetzten Positionen einstufen sollen. Kreuzen Sie bitte das Feld an, mit dem Sie sich am besten identifizieren können.

Fragebogen zur affektiven Befindlichkeit - Datum

Wie fühlen Sie sich zu diesem Zeitpunkt?

	sehr		unentschieden		sehr		
zufrieden	③	②	①	①	②	③	unzufrieden
energiegeladen	③	②	①	①	②	③	energieelos
gestresst	③	②	①	①	②	③	entspannt
müde	③	②	①	①	②	③	hellwach
friedlich	③	②	①	①	②	③	verärgert
unglücklich	③	②	①	①	②	③	glücklich
lustlos	③	②	①	①	②	③	hoch motiviert
ruhig	③	②	①	①	②	③	nervös
begeistert	③	②	①	①	②	③	gelangweilt
besorgt	③	②	①	①	②	③	sorgenfrei

Anhang G

Einverständniserklärung zur Erstellung und Verwendung von Filmmaterial von SuS. Das persönliche Anschreiben wurde nur auf Anfrage der Schulen in die Erklärung aufgenommen.

Einverständniserklärung zur Erstellung und Verwendung von Filmmaterial

Liebe Eltern,

im Rahmen meiner wissenschaftlichen Hausarbeit, welche Teil des ersten Staatsexamens für das Lehramt an Gymnasien ist, werde ich eine Physikstunde im Physik-Grundkurs der zwölften Jahrgangsstufe halten. Dabei möchte ich den Einsatz unterschiedlicher neuer Medien im Unterricht erproben. Für eine entsprechende Analyse der Medienwirkung auf die Schüler/innen würde ich die Unterrichtsstunde gerne filmen. Zudem wäre es eine Bereicherung für die Lehrerbildung an der TU Darmstadt, wenn Lehrende das Filmmaterial zu diesem Zweck nutzen könnten.

Daher möchte ich Sie bitten, mir die Aufnahme von Filmmaterial zu den unten stehenden Bedingungen zu gestatten.

Mit freundlichen Grüßen,
Thomas Arnold

Hiermit erkläre ich mich unter den folgenden Bedingungen damit einverstanden, dass Videoaufnahmen von einer Probeunterrichtsstunde im Physikkurs meiner Tochter/meines Sohnes durch einen Studierenden der TU Darmstadt aufgezeichnet werden:

- Es werden ausschließlich Aufnahmen von der Probestunde aufgezeichnet.
- Die Aufnahmen werden aus der Perspektive der Schüler/innen aufgenommen, wodurch sie hauptsächlich von hinten zu sehen sind.
- Die Aufnahmen werden nicht vervielfältigt.
- Das Filmmaterial wird zur Erkenntnisgewinnung im Rahmen einer Studie der TU Darmstadt zur Medienwirkung auf Schüler/innen genutzt.
- Das Filmmaterial wird von Lehrenden der TU Darmstadt ausschließlich zu Studienzwecken genutzt.

Name des Kindes

Datum,

Unterschrift der/des Erziehungsberechtigten

Schule

Anhang H

Einverständniserklärung zur Erstellung und Verwendung von Filmmaterial vom Autor.

Einverständniserklärung zur Erstellung und Verwendung von Filmmaterial

Hiermit erkläre ich mich unter den folgenden Bedingungen damit einverstanden, dass Videoaufnahmen von den Probeunterrichtsstunden im Rahmen meiner wissenschaftlichen Hausarbeit aufgezeichnet werden:

- Es werden ausschließlich Aufnahmen von den Probestunden aufgezeichnet.
- Die Aufnahmen werden aus der Perspektive der Schüler/innen aufgenommen, wodurch sie hauptsächlich von hinten zu sehen sind.
- Die Aufnahmen werden nicht vervielfältigt.
- Das Filmmaterial wird zur Erkenntnisgewinnung im Rahmen einer Studie der TU Darmstadt zur Medienwirkung auf Schüler/innen genutzt.
- Das Filmmaterial wird von Lehrenden der TU Darmstadt ausschließlich zu Studienzwecken genutzt.

Name

Datum, Unterschrift

15. Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst, keine anderen, als die angegebenen Hilfsmittel verwendet und die Stellen, die anderen benutzten Druck- und digitalisierten Werken im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, mit Quellenangaben kenntlich gemacht habe.

Wissenschaftliche Hausarbeit von Thomas Arnold 2014/15