
Von der Curricularen Innovation zur Wissenschaftskommunikation

Explorative Entwicklung und Evaluation einer Wissenschaftskommunikationsstrategie
für naturwissenschaftliche Forschungsverbände

Inauguraldissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

"doctor rerum naturalium"

(Dr. rer. nat.)

in der Wissenschaftsdisziplin Chemiedidaktik

an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der Universität Potsdam

vorgelegt von

Lena Halbrügge

geboren in Osnabrück

Januar 2024

Soweit nicht anders gekennzeichnet, ist dieses Werk unter einem Creative-Commons-Lizenzvertrag Namensnennung 4.0 lizenziert.

Dies gilt nicht für Zitate und Werke, die aufgrund einer anderen Erlaubnis genutzt werden.

Um die Bedingungen der Lizenz einzusehen, folgen Sie bitte dem Hyperlink:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.de>

Gutachtende: Prof. Dr. Amitabh Banerji (Universität Potsdam)

Prof. Dr. Klaus Meerholz (Universität zu Köln)

Prof. Dr. Claudia Bohrmann-Linde (Bergische Universität Wuppertal)

Tag der mündlichen Prüfung: 19. Oktober 2023

Online veröffentlicht auf dem

Publikationsserver der Universität Potsdam:

<https://doi.org/10.25932/publishup-62035>

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:kobv:517-opus4-620357>

Für meine Eltern

Danksagung

Die letzten Jahre waren für mich nicht nur der Weg zu einem akademischen Abschluss, sie waren auch eine Zeit, in der ich die Gelegenheit hatte, mich persönlich weiterzuentwickeln.

Es gab einige sehr prägende Momente - überwiegend waren es solche, die wundervoll waren, in denen wir uns ausgetauscht, gelacht und voneinander gelernt haben.

Für diese besondere Zeit bin ich vielen Menschen auf unterschiedlichste Art und Weise sehr dankbar.

An allererster Stelle gilt mein großer Dank Herrn Prof. Dr. Amitabh Banerji, der mir die Möglichkeit gegeben hat, diesen weiteren Schritt in meinem Leben zu gehen.

Er hat mich auf das Thema sowie den Rahmen des Graduiertenkollegs aufmerksam gemacht und mein Interesse geweckt.

In der herausfordernden und stressigen Zeit des Aufbaus seines neuen Arbeitskreises in Potsdam war er sowohl fachlich als auch persönlich für mich da.

Auch während meiner Zeit in Köln hat er mich auf die Distanz unterstützt, wenn ich um Rat gefragt habe.

Ganz besonders möchte ich Herrn Prof. Dr. Klaus Meerholz danken, der mich nicht nur einmal in seinem Arbeitskreis in Köln aufgenommen und mir so einen Heimathafen im Rheinland geschaffen hat. Das war nicht selbstverständlich.

Ich bin sehr dankbar für all die unterstützenden und wegweisenden Gespräche.

Zugleich habe ich auf diese Weise einen Eindruck vom Alltag in einem fachwissenschaftlichen Arbeitskreis sowie zu jeder Zeit fachlichen Rat erhalten können.

Ein großer Dank gilt Frau Prof. Dr. Claudia Bohrmann-Linde, die das dritte Gutachten meiner Arbeit übernommen hat. Ich bin sehr froh, dass wir uns im Rahmen des Graduiertenkollegs kennengelernt haben und weiß es sehr zu schätzen, dass sie diesen wichtigen Teil übernimmt und mich auch darüber hinaus ein weiteres Stück meines Weges begleitet.

Herrn Prof. Dr. Heiko Möller danke ich für die Übernahme des Vorsitzes meiner Disputation.

Ein Dank auf einer besonderen Ebene gilt meinen Mitdoktoranden im Graduiertenkolleg ModISC, insbesondere denen der ersten Kohorte. Ohne sie hätte ich diese Arbeit nicht erstellen können. Nicht nur, weil sie die Probandengruppe meiner Studie darstellen, sondern auch, weil wir den Weg gemeinsam gegangen sind. Es ist eine wertvolle Erfahrung gewesen, zusammen an einem großen Projekt zu arbeiten und sich nicht nur im Rahmen von Retreats und Symposien, sondern auch auf der Kegelbahn und in der Altstadt auszutauschen.

Danke für die vielen schönen Momente, die wir erlebt haben, und auf diese Weise zu einer Art ModISC-Familie geworden sind.

Im Besonderen möchte ich hier Mira Kubitz, Julia Wiefermann, Simon Metz und Tobias Böhmer erwähnen.

Herzlich danken möchte ich Tobias für das Korrekturlesen eines Teils der Arbeit.

Besonders möchte ich mich auch bei Dr. Martina Holz bedanken, die mich mit ihrer Expertise an der Universität Düsseldorf nicht nur bei meiner Arbeit mit den Doktoranden unterstützt hat, sondern auch persönlich immer für mich da war. Unser Graduiertenkolleg wäre ohne sie nicht das, was es ist.

Dem Arbeitskreis von Prof. Meerholz gilt ein großer Dank. Zu Beginn meiner Promotion wurde ich dort mit offenen Armen empfangen und habe mich sofort wohl gefühlt.

Ganz besonders danken möchte ich Dr. Ines Schmidt und Nora Gildemeister, die von Beginn an meine Bürokolleginnen waren und beide zu guten Freunden geworden sind.

Dr. Ulli von Goscinski und Dr. Thorsten Piwek möchte ich darüber hinaus für das Pilotieren eines Fragebogens danken.

Ein weiterer Dank gilt Lisa Pankert und Annemarie Berger, mit denen ich nicht nur den Arbeitskreis Meerholz, sondern auch die Teilnahme im Graduiertenkolleg geteilt habe.

Oft haben wir gemeinsam die Fahrten zu den verschiedenen Treffen des Graduiertenkollegs unternommen und eine schöne Zeit verbracht.

Bei Lisa möchte ich mich im Besonderen für das Korrekturlesen des fachwissenschaftlichen Teils bedanken.

Ein großer Dank gilt auch meinem anderen Arbeitskreis in Potsdam.

Insbesondere danke ich meinen Mitdoktoranden Philipp Meyer, Anja Tschiersch, Vivien Meggyes und Rana Ahmed für viele anregende Gespräche und Ideen. Besonders möchte ich mich auch bei Marion Gorges und Christina Hildebrand für die vielen guten Feedbackrunden in der Vorbereitung auf meine Vorträge sowie das Mitfiebern währenddessen bedanken. Ebenso danke ich meiner Mentorin Dr. Michele Brott für ihre guten Ratschläge in den verschiedensten Situationen.

Ganz besonders möchte ich Jonathan Baaske danken, der mich nicht nur bei meinen Arbeiten im Labor unterstützt hat, sondern auch auf persönlicher Ebene für mich da war und so zu einem Freund geworden ist.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei Daniela Höpfner für die vielen Gespräche und Ratschläge bedanken. Ich bin froh, dass sie während meiner Zeit in Potsdam jederzeit für mich da war!

Danke sagen möchte ich auch allen ehemaligen studentischen Hilfskräften des Arbeitskreises Banerji, im Besonderen Luisa Eichhorn und Nico Ermler für viele gemeinsame Labor- und Feierabendstunden.

Jürgen Kopp und seiner *Jugend forscht*-AG am Gymnasium Konz sowie wie Martina Mieth und ihrem Wahlpflichtkurs am Gymnasium Tiergarten in Berlin danke ich für die unkomplizierte und erfolgreiche Zusammenarbeit.

Darüber hinaus möchte ich meinen beiden Schulfreundinnen Johanna Wellenbrock und Susanne Hübner danken. Während der Schreibphase hat Johanna mich immer wieder motiviert, mit ganz vielen lieben Worten und genauso vielen schönen Blumen für den Schreibtisch.

Susanne möchte ich für die fachliche, psychologische Expertise im Hinblick auf das Konstrukt Selbstwirksamkeit danken.

Ohne sie hätte ich einen sehr viel schwierigeren Zugang dazu gehabt.

Beide waren zu jeder Zeit für mich da und ich bin dankbar sie zu haben.

Ein besonderer Dank gilt meinem langjährigen Freund Niklas Prewitz, der mich auf so vielfältige Weise immer wieder unterstützt hat und für Fragen jederzeit ein offenes Ohr sowie für Dienstreisende eine offene Wohnungstür hat. Während meiner Zeit in Potsdam konnte ich bei Besuchen im Rheinland stets bei ihm unterkommen.

Schlussendlich hat Niklas meine Arbeit Korrektur gelesen und mir wertvolle Rückmeldungen gegeben, für die ich sehr dankbar bin.

Weiterhin möchte ich mich ganz besonders bei meinem Bruder Justus bedanken, der mich bei der Auswertung meiner Daten unterstützt hat. Auch in den letzten Zügen der Arbeit war er für mich da, das weiß ich sehr zu schätzen.

Ein riesengroßer Dank gilt meinem Freund Jeremy Kaminski, der mich auf unzähligen Ebenen unterstützt hat: als Mitdoktorand im GRK, und während der Schreibphase insbesondere als Lektor und Koch, Mathe-Profi und Format-Fachmann, als Fachwissenschaftler und eben ganz besonders: als bester Freund.

Es ist beeindruckend mit wie viel Geduld, Mitgefühl und gleichzeitig dem richtigen Maß an Anleitung er mich durch diese Zeit begleitet hat. Ich kann ihm gar nicht genug dafür danken, weil es sicherlich nicht immer einfach war, und hoffe, dass ich ihm in seiner Schreibphase eine ähnlich große Stütze sein kann.

Der größte Dank gilt meinen Eltern, ohne die ich meinen Weg nicht bis hierher hätte gehen können. Sie sind zu jeder Zeit für mich da und stehen hinter mir. Besonders dankbar bin ich für ihr großes Interesse an meiner Arbeit, das ist nicht selbstverständlich. Immer geben sie mir das Gefühl bedingungslos geliebt zu sein und haben mich gelehrt das Leben aus dem richtigen Blickwinkel zu betrachten. Es ist das größte Glück sie an meiner Seite zu haben.

Für die finanzielle Unterstützung möchte ich mich ganz herzlich bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft bedanken, die mich im Rahmen des Graduiertenkollegs ModISC gefördert hat.

Kurzzusammenfassung

Im Rahmen einer explorativen Entwicklung wurde in der vorliegenden Studie ein Konzept zur Wissenschaftskommunikation für ein Graduiertenkolleg, in dem an photochemischen Prozessen geforscht wird, erstellt und anschließend evaluiert. Der Grund dafür ist die immer stärker wachsende Forderung nach Wissenschaftskommunikation seitens der Politik. Es wird darüber hinaus gefordert, dass die Kommunikation der eigenen Forschung in Zukunft integrativer Bestandteil des wissenschaftlichen Arbeitens wird. Um junge Wissenschaftler bereits frühzeitig auf diese Aufgabe vorzubereiten, wird Wissenschaftskommunikation auch in Forschungsverbänden realisiert.

Aus diesem Grund wurde in einer Vorstudie untersucht, welche Anforderungen an ein Konzept zur Wissenschaftskommunikation im Rahmen eines Forschungsverbundes gestellt werden, indem die Einstellung der Doktoranden zur Wissenschaftskommunikation sowie ihre Kommunikationsfähigkeiten anhand eines geschlossenen Fragebogens evaluiert wurden. Darüber hinaus wurden aus den Daten Wissenschaftskommunikationstypen abgeleitet. Auf Grundlage der Ergebnisse wurden unterschiedliche Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen entwickelt, die sich in der Konzeption, den Rezipienten, sowie der Form der Kommunikation und den Inhalten unterscheiden.

Im Rahmen dieser Entwicklung wurde eine Lerneinheit mit Bezug auf die Inhalte des Graduiertenkollegs, bestehend aus einem Lehr-Lern-Experiment und den dazugehörigen Begleitmaterialien, konzipiert. Anschließend wurde die Lerneinheit in eine der Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen integriert. Je nach Anforderung an die Doktoranden, wurden die Maßnahmen durch vorbereitende Workshops ergänzt.

Durch einen halboffenen Pre-Post-Fragebogen wurde der Einfluss der Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen und der dazugehörigen Workshops auf die Selbstwirksamkeit der Doktoranden evaluiert, um Rückschlüsse darauf zu ziehen, wie sich die Wahrnehmung der eigenen Kommunikationsfähigkeiten durch die Interventionen verändert. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die einzelnen Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen die verschiedenen Typen in unterschiedlicher Weise beeinflussen. Es ist anzunehmen, dass es abhängig von der eigenen Einschätzung der Kommunikationsfähigkeit unterschiedliche Bedürfnisse der Förderung gibt, die durch dedizierte Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen berücksichtigt werden können.

Auf dieser Grundlage werden erste Ansätze für eine allgemeingültige Strategie vorgeschlagen, die die individuellen Fähigkeiten zur Wissenschaftskommunikation in einem naturwissenschaftlichen Forschungsverbund fördert.

Abstract

As part of an exploratory research approach a concept for science communication was developed and evaluated for a research training group that focuses on photochemical processes. The increasing demand for science communication by politics justifies this approach. Furthermore, for future scientists the communication of their own research is demanded to be an integrative part of good scientific practice. To prepare young researchers for the upcoming task at an early stage, science communication is also required in research associations.

Hence, a preliminary study was conducted to first investigate the requirements of a science communication concept by evaluating doctoral students' attitudes towards science communication and their communication skills using a questionnaire comprising closed questions. Moreover, science communication types were derived from the data. Based on these results multiple science communication measures that differ in the conception, the recipients, the form of the communication and their content were developed.

With reference to the content of the graduate program an experiment and the accompanying material for teaching was designed. It can be used in schools and extracurricular learning settings. Subsequently, the teaching unit was implemented into one measure. Depending on the requirements of each science communication measure for the doctoral students the measures were complemented by preparatory workshops.

Through a semi-open pre-post questionnaire, the impact of the science communication measures and the associated workshops on the doctoral students' self-efficacy was evaluated. Also, conclusions about how the perception of their own communication skills changed as a result of the intervention could be drawn. The results suggest that the individual science communication measures affect the different types in various ways. It is likely that depending on one's assessment of communication skills, there are different funding needs that can be addressed through dedicated measures.

In this way, a generally applicable strategy which promotes individual science communication skills in a scientific research association will be proposed.

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
1.1	Das Graduiertenkolleg ModISC.....	2
1.2	Ziel und Aufbau der Arbeit	3
2	EINORDNUNG DES FORSCHUNGSTHEMAS	5
2.1	Wissenschaftskommunikation.....	5
2.2	Interne und externe Wissenschaftskommunikation	7
2.2.1	Externe Wissenschaftskommunikation	9
2.2.2	Der 10-Punkte-Plan der Allianz	10
2.2.3	Wissenschaftskommunikation während und nach der Pandemie.....	12
2.2.4	Wissenschaftskommunikation in Forschungsverbänden.....	16
2.3	Selbstwirksamkeit	20
2.3.1	Selbstwirksamkeitserwartung.....	21
2.3.2	Selbstwirksamkeitserwartung und Handlungsergebniserwartung	23
2.3.3	Quellen zur Entwicklung der Selbstwirksamkeitserwartung.....	24
2.3.4	Beeinflussung durch Selbstwirksamkeit	26
2.3.5	Allgemeine, bereichsspezifische und situationsspezifische Selbstwirksamkeitserwartung	28
2.4	Curriculare Innovationsforschung	29
2.4.1	Definition	30
2.4.2	Anforderungen an die Curriculare Innovationsforschung.....	31
2.4.3	Experimente im Rahmen der Curricularen Innovationsforschung	34
2.4.4	Phasenmodell der Curricularen Innovationsforschung.....	35
3	FORSCHUNGSDESIGN.....	37
4	FACHWISSENSCHAFTLICHE GRUNDLAGEN	40
4.1	Das Bändermodell	40
4.1.1	Leiter, Halbleiter, Isolatoren	43
4.1.2	Dotierung.....	45
4.1.3	Elektronenübergänge im Bändermodell.....	48
4.2	Photo- und Elektrolumineszenz.....	49
4.2.1	Photolumineszenz	49
4.2.2	Elektrolumineszenz	52
4.3	Das elektrische Feld	54
4.4	Prozesse in einer Elektrolumineszenz-Folie.....	54
4.4.1	Aufbau	55
4.4.2	Funktionsprinzip	57

5	TEILSTUDIE I: ENTWICKLUNG DER CURRICULAREN INNOVATION	61
5.1	Inspirations- und erste Inventionsphase	62
5.1.1	Experimentelle Ergebnisse der ersten Inventionsphase	63
5.2	Zweite Inventionsphase und Investigationsphase	65
5.2.1	Zweite Inventionsphase.....	65
5.2.2	Investigationsphase	81
5.2.3	Ausblick.....	91
6	TEILSTUDIE II: UNTERSUCHUNGEN ZUR WISSENSCHAFTSKOMMUNIKATION	94
6.1	Vorstudie	94
6.1.1	Forschungsdesign	95
6.1.2	Forschungsmethodik	96
6.1.3	Konzeption des Fragebogens	98
6.1.4	Auswertung.....	103
6.2	Hauptstudie	112
6.2.1	Forschungsdesign	114
6.2.2	Forschungsmethodik	115
6.2.3	Entwicklung der Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen	118
6.2.4	Konzeption der Fragebögen	124
6.2.5	Datenerhebung.....	127
6.2.6	Auswertung.....	128
6.2.7	Wissenschaftskommunikation in naturwissenschaftlichen Forschungsverbänden	140
6.2.8	Beantwortung der Forschungsfrage	143
6.2.9	Resultierende Fragestellungen.....	144
6.2.10	Methodenreflexion.....	147
7	FAZIT UND AUSBLICK	150
8	ANHANG	152
8.1	Ergebnisdiskussion der Vorstudie	152
8.2	Ergebnisdiskussion der Hauptstudie	158
8.2.1	Girls' Day.....	159
8.2.2	Nacht der Wissenschaft.....	165
8.3	Erhebungen Wissenschaftskommunikation	171
8.3.1	Vorstudie - Fragebogen	171
8.3.2	Vorstudie - Quantitative Ergebnisse	174
8.3.3	Girls' Day - Pre-Fragebogen.....	176
8.3.4	Nacht der Wissenschaft - Pre-Fragebogen	178
8.3.5	Girls' Day - Post-Fragebogen	181
8.3.6	Girls' Day - Post-Fragebogen - Qualitative Ergebnisse	184
8.3.7	Nacht der Wissenschaft - Post-Fragebogen.....	186
8.3.8	Nacht der Wissenschaft - Post-Fragebogen - Qualitative Ergebnisse	190
8.4	Erprobung Wahlpflichtkurs	193
8.4.1	Synopsen.....	193
8.5	Erprobung Schülerlabor iLUP	194
8.5.1	Synopse	194

8.5.2	Fragebogen.....	195
8.5.3	Ergebnisse	197
8.6	Arbeitsblätter.....	199
8.7	Allgemeine Gefährdungsbeurteilung.....	207
8.8	Digitale Durchführungsbeschreibung.....	209
	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	210
	LITERATURVERZEICHNIS	211
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	221
	TABELLENVERZEICHNIS.....	225
	SELBSTSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG	226

1 Einleitung

„Nothing in science has any value to society if it is not communicated, [...]”

(Roe, 1952, S. 17)

Die Psychologin ANNE ROE beschreibt bereits 1952 einen Gedanken, der in der heutigen Zeit ganz besonders präsent ist. Der Satz stammt aus ihrem Buch *The Making of a Scientist*, in dem sie ihre Erkenntnisse darüber zusammenfasst, welcher Typ Mensch sich aus welchem Grund im Laufe seines Lebens mit welcher Art von Wissenschaft befasst. Dazu traf sie sich mit bedeutenden Wissenschaftlern ihrer Zeit aus den verschiedensten Disziplinen. Mit ihrem Werk möchte sie darstellen, welche Bedeutung und welchen Wert die Wissenschaft für denjenigen hat, der forscht, sowie gleichermaßen für die Gesellschaft. Insbesondere der Bedeutung, die die Wissenschaft für die Gesellschaft hat, wurde sich die Menschheit in den letzten drei Jahren immer mehr bewusst. Aus der Corona-Pandemie resultierten nicht nur Einschränkungen des täglichen Lebens, sondern auch Ängste und Unsicherheit. Tag für Tag wurde auf neue Erkenntnisse aus der Forschung gehofft. Es traten Wissenschaftler¹ aus dem Labor vor die Kamera, um über den tagesaktuellen Fortschritt zu referieren. Wissenschaftskommunikation wurde von jetzt auf gleich das Konstrukt, an dem sich die Gesellschaft festhielt. Die Relevanz der Kommunikation von Forschung wurde bereits einige Monate vor dem Beginn der Pandemie vom Bundesministerium für Bildung und Forschung dargestellt. In dessen Grundsatzpapier zur Wissenschaftskommunikation wurde gleichermaßen festgestellt, dass sich diese „als wichtige Aufgabe im deutschen Wissenschaftssystem etabliert und professionalisiert“ habe (*Grundsatzpapier des Bundesministeriums für Bildung und Forschung zur Wissenschaftskommunikation*, 2019, S. 2). Das ist nicht zuletzt begründet in dem 1999 veröffentlichten PUSH-Memorandum der großen Wissenschaftsorganisationen, in dem Wissenschaftler dazu aufgefordert wurden, ihre Arbeit für die Öffentlichkeit verständlich darzustellen (*Dialog Wissenschaft und Gesellschaft*, 1999). Das Grundsatzpapier aus dem November 2019 ergänzt das Postulat des Memorandums unter anderem um die explizite Erwähnung junger Forscher und das Ziel der Etablierung von Öffentlichkeitsarbeit als

¹ Im Sinne der besseren Lesbarkeit wird in dieser Arbeit nachfolgend das generische Maskulinum verwendet. Sofern nicht anders kenntlich gemacht, beziehen sich Personenbezeichnungen stets auf alle Geschlechteridentitäten.

selbstverständlichen Aspekt des wissenschaftlichen Arbeitens (*Grundsatzpapier des Bundesministeriums für Bildung und Forschung zur Wissenschaftskommunikation*, 2019, S. 2). Aus diesem Grund wird Wissenschaftskommunikation zunehmend auch in Forschungsverbänden gefordert und gefördert. Auf diese Weise sollen insbesondere die jungen Wissenschaftler, die in diesem Rahmen oft den ersten Schritt der akademischen Karriere gehen, zur Kommunikation ihrer Forschung bewegt werden, sodass sie diese Arbeit zukünftig als integrativen Bestandteil ihres Arbeitsalltags verstehen. Neben der Forderung nach Wissenschaftskommunikation existieren auch einige Ideen und Vorschläge zur Umsetzung derselben in einem Forschungsverbund. Es wurde jedoch deutlich, dass keine konkreten, Orientierung bietenden Konzepte existieren. Vielmehr versuchen Forschungsverbände der Forderung nach eigenem Ermessen nachzukommen, was zur Unzufriedenheit bei den Wissenschaftlern führt (Gantenberg, 2018, S. 177, 244). Um perspektivisch ein solches Konzept zu erstellen, ist es notwendig, Wissenschaftskommunikation in einem Forschungsverbund anzuleiten und zu evaluieren. Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen eines Forschungsverbundes, dem Graduiertenkolleg² ModISC, erstellt.

1.1 Das Graduiertenkolleg ModISC

Das übergreifende Thema des Graduiertenkollegs (GRK) *ModISC* ist die Forschung an und Modulation von photophysikalischen Prozessen. Zu Beginn waren insgesamt zwölf Principle Investigators, 13 Doktoranden und ein Post-Doktorand Mitglieder des GRKs. Mittlerweile hat die zweite Kohorte der Doktoranden begonnen, während andere ihre Promotion bereits beendet und das GRK verlassen haben.

Im GRK liegt der Fokus auf dem Intersystem Crossing, kurz ISC. Dabei handelt es sich um die strahlungslose Umwandlung elektronischer Zustände (siehe Kapitel 4.2.1.2). Diese soll basierend auf der interdisziplinären Arbeit von theoretischen und synthetischen Chemikern sowie durch die Spektroskopie moduliert werden, um unter anderem elektronische Bauteile, wie beispielsweise OLEDs, effizienter zu machen.

² Ein Graduiertenkolleg ist einer von vielen möglichen Forschungsverbänden, die die Deutsche Forschungsgemeinschaft fördert.

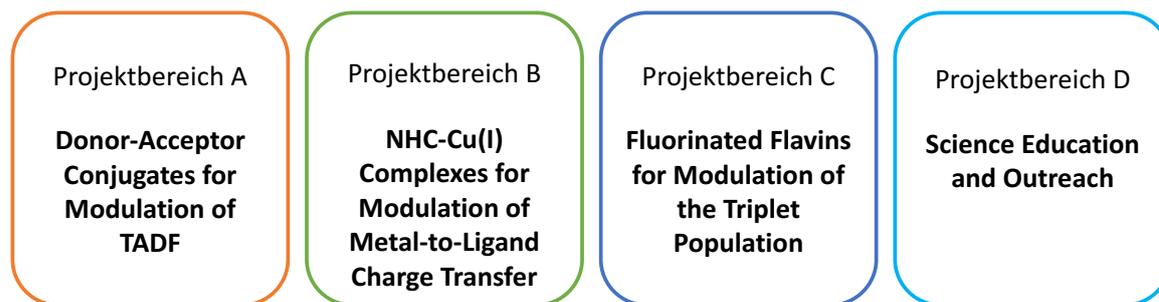


Abbildung 1: Projektbereiche im Graduiertenkolleg ModISC.

Die Struktur des GRKs ModISC setzt sich aus vier verschiedenen Projektbereichen (A-D) zusammen (siehe Abbildung 1).

Der Projektbereich D *Science Education and Outreach* wird von der Autorin der vorliegenden Studie, sowie dem dazugehörigen Principle Investigator vertreten.

1.2 Ziel und Aufbau der Arbeit

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung eines Konzepts zur Wissenschaftskommunikation für die Doktoranden des Graduiertenkollegs ModISC sowie dessen Evaluation, um im Anschluss daran einen ersten allgemeinen Konzeptentwurf für Wissenschaftskommunikation in naturwissenschaftlichen Forschungsverbänden abzuleiten. Das Konzept wird primär durch verschiedene Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen realisiert, an denen sich die Doktoranden beteiligen können.

Dazu ist es zunächst von Bedeutung das Konstrukt Wissenschaftskommunikation zu verstehen und sich mit den beeinflussenden Faktoren auseinanderzusetzen (siehe Kapitel 2.1). Relevant ist ferner ein Verständnis für die Entwicklung der Wissenschaftskommunikation vor dem Hintergrund der Pandemie, da auf diese Weise deutlich wird, welche Verantwortung Wissenschaftlern, die ihre Forschungsergebnisse kommunizieren, zuteilwerden kann. Darüber hinaus muss die interne von der externen Wissenschaftskommunikation unterschieden werden, um herauszustellen, was konkret durch das zu entwickelnde Konzept gefördert werden soll (siehe Kapitel 2.2).

Genauso wie das Verständnis des Konstruktes Wissenschaftskommunikation für die Entwicklung eines zielführenden Konzeptes entscheidend ist, ist das Verständnis des

Konstruktes der Selbstwirksamkeit und der Selbstwirksamkeitserwartung relevant für die Konzeption und Auswertung der Evaluation. Die Messung der Selbstwirksamkeitserwartung der Doktoranden gibt Aufschluss über die Entwicklung der Wahrnehmung der eigenen Fähigkeiten in Bezug auf die Wissenschaftskommunikation. Dazu ist es wichtig die verschiedenen Faktoren zu kennen, die die Selbstwirksamkeit beeinflussen können (siehe Kapitel 2.3).

Es erfolgt die Entwicklung einer Lerneinheit, die im Kontext der Forschung der Doktoranden steht (siehe Kapitel 5). Diese wird in eine der Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen integriert. Sowohl das Experiment als auch die Begleitmaterialien der Lerneinheit werden im Rahmen der curricularen Innovationsforschung (siehe Kapitel 2.4) vor dem Hintergrund der dazugehörigen fachwissenschaftlichen Grundlagen konzipiert (siehe Kapitel 4).

Um die Maßnahmen an die Zielgruppe der Doktoranden zu adaptieren, wird eine Vorstudie durchgeführt. In dieser wird untersucht, welche Einstellung die Doktoranden hinsichtlich des Konstruktes Wissenschaftskommunikation haben und wie sie ihre eigenen allgemeinen sowie fachlichen Kommunikationsfähigkeiten einschätzen (siehe Kapitel 6.1).

Basierend auf den Ergebnissen der Vorstudie wird das übergeordnete Konzept zur Wissenschaftskommunikation erstellt und im Anschluss daran evaluiert. Dazu wird die Entwicklung der Selbstwirksamkeit der Doktoranden untersucht. Abschließend werden die Ergebnisse dargestellt und diskutiert. Es wird ein erster Entwurf für ein Konzept zur Wissenschaftskommunikation in naturwissenschaftlichen Forschungsverbänden vorgestellt (siehe Kapitel 6.2.7). Ferner werden weiterführende Fragen und Aufgaben im Hinblick auf die Konkretisierung des Konzeptes aus der vorliegenden Studie abgeleitet (siehe Kapitel 6.2.9).

2 Einordnung des Forschungsthemas

Die vorliegende Studie befindet sich an der Schnittstelle zwischen Wissenschaftskommunikation und curricularer Innovationsforschung. Um das Forschungsthema einzuordnen, wird beides nachfolgend erläutert. Darüber hinaus dient das psychologische Konstrukt Selbstwirksamkeit als Instrument der Untersuchung. Es wird im Folgenden ebenfalls vorgestellt.

2.1 Wissenschaftskommunikation

Auf vielen Wegen hat sich der Begriff Wissenschaftskommunikation heute im deutschen Sprachgebrauch etabliert und ist in der Gesellschaft weitläufig bekannt.

Spätestens seitdem das Bundesministerium für Bildung und Forschung im Jahr 2019 ein Grundsatzpapier (*Grundsatzpapier des Bundesministeriums für Bildung und Forschung zur Wissenschaftskommunikation*, 2019) zu dem Thema herausgebracht hat, steht außer Frage, welche Relevanz ihr zugesprochen wird. In dem Grundsatzpapier ist von der bereits erfolgten Etablierung und Professionalisierung von Wissenschaftskommunikation als bedeutender Aspekt im Wissenschaftssystem die Rede. Daraus folgt der Anspruch, dass Wissenschaftler ihre Forschung kommunizieren, indem sie diese verständlich darstellen, kontextualisieren und so der allgemeinen Öffentlichkeit zugänglich machen. Es wird gefordert, dass sie mit ihrem Wissen den Diskurs anregen (*Grundsatzpapier des Bundesministeriums für Bildung und Forschung zur Wissenschaftskommunikation*, 2019). Dadurch wird eine explizite Form von Wissenschaftskommunikation verlangt. Wissenschaftler selbst sollen aus ihrer eigenen Forschung heraus kommunizieren. Der Dialog von Forschenden mit der Gesellschaft ist dabei zentral (Fähnrich & Schäfer, 2020, S. 516).

Auch innerhalb der Gesellschaft ist das Interesse an Forschung und Wissenschaft weiter gestiegen und die Forderung nach der Bereitstellung von Ergebnissen für die Gesellschaft wächst. Seitens der Gesellschaft besteht ferner der Anspruch, diese Ergebnisse anschließend langfristig zu nutzen und zu integrieren (Hagenhoff et al., 2007, S. 5). Ein Beispiel für die direkte Integration von Inhalten in die Gesellschaft ist die Implementation derselben im Bildungssystem (Gregory & Miller, 2000, S. 1).

Darüber hinaus setzen sich in Deutschland Initiativen wie *Wissenschaft im Dialog*³ und Institutionen, wie das Nationale Institut für Wissenschaftskommunikation vermehrt ein, um Wissenschaftskommunikation zu fördern und zu unterstützen.

Die metaperspektivische Betrachtung derselben war jedoch 2016 nur wenig ausgereift (Sowka, 2016, S. 51) und bis heute sind, nach eingehender Recherche, längst nicht alle Parameter, die auf das große Feld Wissenschaftskommunikation einwirken, untersucht.

Deutlich wird, dass der Begriff *Wissenschaftskommunikation* heute nicht nur viele Aspekte von Kommunikation in und über die Wissenschaft umfasst, sondern auch von vielen Institutionen aufgegriffen und exklusiv thematisiert wird.

Es ist somit notwendig, den Begriff genauer zu definieren und ihn in den Kontext der vorliegenden Arbeit einzuordnen.

Wissenschaftskommunikation bezeichnet zunächst ganz trivial die Kommunikation von Wissenschaft. BURNS ET AL. beschreiben sie 2003 als die Nutzung von geeigneten Fähigkeiten, Medien, Aktivitäten und Dialogen, um eine oder mehrere der folgenden persönlichen Reaktionen zum Thema Wissenschaft hervorzurufen: Bewusstsein, Freude, Interesse, Meinungsbildung und Verständnis (S. 191).

Es wird klar, dass auf unterschiedliche Art und Weise Wissenschaft nähergebracht wird. Den beschriebenen Reaktionen ist darüber hinaus auch ein zumindest grundlegend erworbenes Verständnis der dargebrachten Inhalte inhärent. Bei den Inhalten kann es sich um alle Formen wissenschaftlichen Wissens oder wissenschaftlicher Arbeit handeln (Schäfer et al., 2015, S. 13).

Dennoch existiert bis heute keine einheitliche Definition für den Begriff *Wissenschaftskommunikation* in der Fachliteratur. Das hat viele Gründe, wie beispielsweise die nicht ausreichend präzise verwendeten Begriffe, die es im Kontext der Wissenschaftskommunikation gibt (Burns et al., 2003, S. 183).

Für die vorliegende Arbeit wird daher eine Arbeitsdefinition von Wissenschaftskommunikation präzisiert: Wissenschaftskommunikation bezeichnet jede Form sowohl synchroner als auch asynchroner Kommunikation innerhalb und außerhalb wissenschaftlicher Einrichtungen, die wissenschaftliche Aussagen und Darstellungen beinhaltet. Die Kommunikation erfolgt nicht nur zwischen Forschenden und Gesellschaft, sie kann auch zwischen zwei oder mehr Forschenden erfolgen.

³ www.wissenschaft-im-dialog.de (letzter Zugriff: 15.04.2023)

Diese Definition beinhaltet alle relevanten Aspekte, die im Rahmen dieser Arbeit im Hinblick auf Wissenschaftskommunikation thematisiert werden.

2.2 Interne und externe Wissenschaftskommunikation

Das große Feld der Wissenschaftskommunikation wird in die interne und die externe Wissenschaftskommunikation unterteilt. Externe Wissenschaftskommunikation bezeichnet das, was gemeinhin als Wissenschaftskommunikation verstanden wird. Im englischsprachigen Raum wird die externe Wissenschaftskommunikation auch mit dem Akronym PUS (Public Understanding of Science) abgekürzt. Eine der britischen Regierungsinstitutionen, das *House of Lords* der *Science and Society* beschreibt die externe Wissenschaftskommunikation als das Verständnis von wissenschaftlichen Inhalten durch Laien. Dabei geht es nicht um ein tiefes Verständnis aller Zweige von Wissenschaft, sondern vielmehr darum, zu verstehen, was Wissenschaft ist und wie sie arbeitet. Darüber hinaus sollen die Vorteile und auch Auswirkungen von aktueller Forschung verstanden werden. Unter externer Wissenschaftskommunikation wird alles gefasst, was als Öffentlichkeitsarbeit der wissenschaftlichen Gemeinschaft angesehen werden kann (Burns et al., 2003, S. 187).

Dabei können drei übergeordnete Ziele externer Wissenschaftskommunikation unterschieden werden.

Das erste Ziel ist es, ein grundlegendes Verständnis der wissenschaftlichen Inhalte beim Rezipienten zu generieren. Die auch in der didaktischen Ausbildung von Lehramtskandidaten relevante, sogenannte *Scientific Literacy* fokussiert im Kontext der Wissenschaftskommunikation die Steigerung der wissenschaftlichen Kompetenz der Gesellschaft (Bowater & Yeoman, 2013, S. 9 f.; Logan, 2001, S. 137). Ein weiteres Ziel ist es, im Sinne der *Public Awareness of Science* ein Bewusstsein für die Forschung zu schaffen und auf diesem Weg Akzeptanz und Empathie bei der Öffentlichkeit zu bewirken (Sowka, 2016, S. 52). Das dritte Ziel ist das *Public Engagement with Science and Technology*. Anstatt nur zur interessierten Öffentlichkeit zu sprechen, soll diese entfernt in den Prozess der Forschung eingebunden werden, indem mit den Menschen gesprochen wird (Schäfer, 2009, S. 475 f.; Kurath & Gisler, 2009, S. 569; Mejlgaard & Stares, 2010, S. 546).

Zusammenfassend beschreibt externe Wissenschaftskommunikation die Kontextualisierung und Bereitstellung von wissenschaftlichen Inhalten im Alltag, sodass diese von Laien verstanden und genutzt werden können. Dabei muss kein tiefes Verständnis für die Inhalte generiert werden. Vielmehr geht es um eine Sensibilisierung für wissenschaftliche Inhalte und deren Generierung im Sinne von *Nature of Science* (Heering & Kremer, 2018, S. 105 ff.; Reiners & Saborowski, 2017, S. 77 ff.). Dieses Bewusstsein soll von den Rezipienten nach Möglichkeit mit in deren Alltag genommen werden.

Interne Wissenschaftskommunikation hingegen beschreibt alle Formen von Kommunikation über Wissenschaft innerhalb der Wissenschaftsgemeinschaft. NIELSEN beschreibt "science as communication" (2012, S. 2080) und GARVEY nennt Kommunikation 1979 bereits „the essence of science“ (S. 126). Bereits zwischen den Wissenschaftlern findet Kommunikation statt, damit Wissenschaft überhaupt entstehen und reifen kann. Es werden Ideen ausgetauscht und Inspirationen generiert. Die interne Wissenschaftskommunikation wird in formell und informell eingeteilt. Formelle interne Wissenschaftskommunikation geschieht, indem wissenschaftliche Texte verfasst und in verschiedenen Aufmachungen publiziert werden. Hierzu zählen beispielsweise Monographien und Zeitschriftenartikel. Darüber hinaus sind der internen formellen Kommunikation Regeln inhärent, auf die sich in der wissenschaftlichen Gemeinschaft geeinigt wurde. Ein Beispiel sind die Zitationsregeln für die Veröffentlichung wissenschaftlicher Texte. Zur informellen internen Wissenschaftskommunikation gehören hingegen alle anderen Bereiche wissenschaftsinterner Kommunikation, wie die Gespräche unter Wissenschaftlern mit dem Ziel Kooperationen einzugehen und sich gegenseitig zu unterstützen (Voigt, 2012, S. 18 f.). Dies geschieht zum Beispiel durch face-to-face Diskussionen oder durch den täglichen Mailkontakt; bei DAVIES UND GREENWOOD wird dies als „what they [die Wissenschaftler] ask each other, as well as what they tell each other“ (2004, S. 158) zusammengefasst. Dadurch wird langfristig auf der einen Seite wieder formelle Wissenschaftskommunikation im Hinblick auf Publikationen erreicht, auf der anderen Seite entsteht aber auch eine exklusive, kommunikative Gemeinschaft (Kaden, 2009, S. 58).

2.2.1 Externe Wissenschaftskommunikation

Zwischen Wissenschaftlern und Gesellschaft

Kommunikation ist immer das Übertragen von Information auf andere, die dadurch in irgendeiner Art und Weise beeinflusst werden (Schmidt, 2018, S. 23). Sie ist eine Interaktion zweier voneinander nur durch die strukturelle Umgebung verbundenen Subjekte (Nöth, 2000, S. 241). Das impliziert, dass es im Normalfall einen Sender und einen Rezipienten gibt. So auch bei der Wissenschaftskommunikation. Die Forschenden teilen die Inhalte mit der Öffentlichkeit. Beide Seiten stehen heute im Fokus der Forschung zur Wissenschaftskommunikation, ebenso wie das Verhältnis der beiden zueinander.

In dieser Arbeit stehen die kommunizierenden Wissenschaftler im Mittelpunkt, daher soll sowohl das Verhältnis zwischen Wissenschaftlern und Gesellschaft, ebenso wie die Gesellschaft selbst in diesem Kontext nur der Vollständigkeit halber kurz erläutert werden. Besonders herausgestellt wird in der Forschung zur Wissenschaftskommunikation derzeit die sehr starke Einflussnahme beider Parteien aufeinander. Dies wird insbesondere der Medialisierung wissenschaftlicher Inhalte zugeschrieben. Medialisierung, manchmal auch Mediatisierung, bezeichnet die Wirkung, die der Wandel der Medienkultur auf die Gesellschaft hat (Lüthje, 2012, S. 114). Durch die gestiegene Anzahl medialer Möglichkeiten, Forschung publik zu machen, und gleichzeitig durch die verstärkte Präsenz der Medien, wird auch das wissenschaftliche Wissen immer präsenter in der Gesellschaft (Gantenberg, 2018, S. 37). Dadurch nähern sich beide Instanzen immer stärker aneinander an. LÜTHJE bezeichnet die Öffentlichkeit bereits als erweiterte Gemeinschaft der Wissenschaft, die an deren Überlegungen zu weiterer Forschung beteiligt ist (2012, S. 121). Dadurch, dass beide Sphären miteinander interagieren, wird das natürliche Verhalten beider verändert. Beispielsweise werden seitens der Medien primär für sie attraktive Themen zur Publikation ausgewählt. Indirekt erhält die Wissenschaft so permanent ein Feedback. Sie orientiert sich an der Gesellschaft und versucht die Bereiche stärker zu fokussieren, die im Interesse der Öffentlichkeit liegen. Zugleich versuchen die Wissenschaftler ihre Medienpräsenz zu optimieren, um ihre Anerkennung in der Gesellschaft sicherzustellen. Mit der Anerkennung geht auch die Legitimation ihrer Person als Wissenschaftler in der Öffentlichkeit einher (Schäfer, 2008, S. 207). Somit handeln die Forschenden im medialen Kontext häufig extrinsisch motiviert. Für die Wissenschaft als Ganzes resultiert aus dem Erscheinen verschiedener Ergebnisse ein Verlust der Kontrolle

hinsichtlich der Sicherung der intrawissenschaftlichen Qualität (Pansegrau et al., 2011, S. 4). Diese Problematik wurde im Rahmen der Corona-Pandemie der letzten Jahre nochmal deutlich herausgestellt. Diskussionen über die Veröffentlichung von Pre-Prints der kontinuierlich neuen Ergebnisse wurden immer wieder geführt (Fährnich & Schäfer, 2020, S. 517).

Im Sinne der oben beschriebenen aktuellen Entwicklungen im Verhältnis zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit forderte MERTON bereits 1985 die Unabhängigkeit von Forschungsergebnissen. Sie sollen allein auf die Profession des Wissenschaftlers und nicht auf dessen soziale oder persönliche Umstände zurückzuführen sein. Dies ist der Grundsatz *Universalismus* aus MERTONS *Ethos der Wissenschaft*. Neben diesem Grundsatz verlangt das Ethos von Wissenschaftlern die Einhaltung dreier weiterer Grundsätze: das obligatorische Teilen von Forschungsergebnissen (*Kommunismus*), die kritische Prüfung jeder Behauptung, die ein Wissenschaftler aufstellt (*kritischer Skeptizismus*) und, dass die Forschung immer unabhängig vom eigenen Nutzen, ausgerichtet auf höhere Ziele, sein sollte (*Uneigennützigkeit*). Diese vier Normen sollen die Objektivität von Wissenschaft garantieren (Merton, 1985, S. 90). Während der Grundsatz des *Kommunismus* durch die veränderten, aktuellen Umstände der Wissenschafts-Gesellschafts-Relation gefördert wird, ist die Umsetzung der Grundsätze *Universalismus* und *Uneigennützigkeit* nicht trivial. Sobald ein Wissenschaftler aufgrund seiner Reputation sein Forschungsinteresse adaptiert, sind beide Grundsätze verletzt. Die Adaption des eigenen Forschungsinteresses aufgrund von Nachfragen und Bedürfnissen aus der Gesellschaft, ist insbesondere in den letzten drei Jahren der weltweiten Corona-Pandemie erstaunlich häufig aufgetreten. Die natürlichen Umstände haben dieses Verhalten der Forschenden gefordert.

2.2.2 Der 10-Punkte-Plan der Allianz

Bereits im Mai 2020, kurz nach dem Auftreten des Corona-Virus, haben sich die zehn großen Wissenschaftsorganisationen Deutschlands zusammengeschlossen, um einen Plan zur Förderung von Wissenschaftskommunikation zu erstellen. Dabei machten sie es sich zur gemeinsamen Aufgabe, den Dialog zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit zu fördern, indem sie wegweisende Grundlagen in Form eines 10-Punkte-Plans schaffen. Sie möchten damit an das PUSH-Memorandum von 1999, welches zur Professionalisierung

von Wissenschaftskommunikation geführt hat, anknüpfen (Allianz der Wissenschaftsorganisationen, 2020, S. 1). Dazu stellte die Allianz vier übergreifende Handlungsfelder heraus, für die nachfolgend Handlungsempfehlungen ausgesprochen werden. Das erste Handlungsfeld ist die Berücksichtigung der gesellschaftlichen Relevanz. Noch mehr soll in Zukunft auf die Fragen aus der Gesellschaft eingegangen werden. Das zweite Handlungsfeld ist das Einnehmen der Empfängerperspektive. Verstärkt sollen die individuellen Rezipientengruppen antizipiert werden, um entsprechend die Wissenschaftskommunikationsformate adaptieren zu können. Die Stärkung der Kommunikationskompetenz ist das dritte Handlungsfeld. Da die Allianz die Kommunikation von wissenschaftlichem Wissen als dem Beruf des Wissenschaftlers inhärent betrachtet, sollen diese noch stärker darin ausgebildet und qualifiziert werden. Das vierte Handlungsfeld ist die Förderung der Vernetzung zwischen wissenschaftlichen Institutionen und der Öffentlichkeit. Zukünftig sollen Möglichkeiten zur Kooperation besser genutzt werden (Allianz der Wissenschaftsorganisationen, 2020, S. 2 f.).

Nachfolgend werden die zehn Handlungsempfehlungen tabellarisch dargestellt, die nicht nur an die individuellen Wissenschaftler gerichtet werden, sondern auch für die Mitglieder der Allianz obligatorisch werden sollen (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Zehn Handlungsempfehlungen zur Wissenschaftskommunikation.

1	Es soll häufiger Stellung zu innergesellschaftlichen Fragen genommen werden.
2	Der Erkenntnisprozess, wie er in der Forschung üblich ist, soll der Öffentlichkeit verdeutlicht werden.
3	Es soll eine stärkere Orientierung an der Gruppe der Rezipienten erfolgen.
4	Es soll ein größerer Schwerpunkt auf audiovisuelle Medien gelegt werden, sodass eine größere Anzahl an Personen erreicht werden kann.
5	Die Wissenschaftler werden stärker durch die in der Allianz verbundenen Organisationen unterstützt.
6	Die Mitglieder der Allianz fördern die Thematisierung von Wissenschaftskommunikation bereits während des akademischen Werdegangs, auf allen Stufen der Karriere. Die Aus- und Weiterbildung hinsichtlich Wissenschaftskommunikation soll integrativer Bestandteil des Werdegangs eines Wissenschaftlers werden.
7	Sowohl zeitlich, als auch finanziell sollen Kontingente geschaffen werden, die Wissenschaftskommunikation erleichtern und ermöglichen.

8	Seitens der Mitglieder der Allianz wird sich für eine fixe finanzielle Förderung von Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen eingesetzt.
9	Ein regelmäßiger Austausch der einzelnen Mitglieder der Allianz wird forciert. Dadurch können relevante Themen früher erkannt und bearbeitet werden.
10	Der Austausch auf nationaler, wie internationaler Ebene hinsichtlich Wissenschaftskommunikation soll maximiert werden.

(Allianz der Wissenschaftsorganisationen, 2020, S. 3 f.)

Die genannten Aspekte sollen von 2020 an Schritt für Schritt umgesetzt werden, um dem Wandel der Anforderungen an die Kommunikation zwischen Wissenschaftlern und Gesellschaft gerecht zu werden.

2.2.3 Wissenschaftskommunikation während und nach der Pandemie

Im Folgenden wird der Einfluss der Pandemie auf Wissenschaftskommunikation näher erläutert, insbesondere, weil die Arbeiten zur vorliegenden Studie im Oktober 2019 begonnen haben und somit nahezu die gesamte Studie während der Corona-Pandemie durchgeführt wurde. Das Konstrukt der Wissenschaftskommunikation unterlag in dieser Zeit einem großen Wandel. So zahlreich wie nie zuvor standen plötzlich Wissenschaftler verschiedener Disziplinen, insbesondere Virologen, vor Kameras, waren in Talkshows eingeladen und haben dort, wo sie nur konnten, Erkenntnisse geteilt und Wissen vermittelt. Heute, drei Jahre nach Beginn der Pandemie, haben sich dadurch auch einige Veränderungen im Bereich der Forschung zur Wissenschaftskommunikation ergeben. Diese Erkenntnisse sind nicht direkt in die Forschung der vorliegenden Arbeit eingeflossen, da sie parallel zu denen der vorliegenden Studie gewonnen wurden. Sie werden dennoch erwähnt, da das Thema Wissenschaftskommunikation während der letzten drei Jahre sehr stark an Bedeutung gewonnen hat und auf diese Weise der Aktualität der vorliegenden Studie Rechnung getragen wird.

Mit Blick auf das *Ethos der Wissenschaft* von MERTON und ganz besonders auf den Grundsatz der *Uneigennützigkeit* wird am Beispiel der Corona-Pandemie deutlich, wie sehr die Wissenschaftler, die in dieser Zeit im Fokus der Medien standen, gefährdet waren, das Ethos zu verletzen (siehe Kapitel 2.2.1).

Wissenschaftskommunikation hat schon immer politisiert, wie auch popularisiert. Doch während der Pandemie wurde dieses Phänomen noch ersichtlicher. Die kommunizierenden Wissenschaftler sind dem Risiko ausgesetzt, dass die Öffentlichkeit ihnen politische Motive unterstellt. Ferner werden ihnen sogar Sympathien zu expliziten Parteien unterstellt. Je bekannter ein Wissenschaftler wird, desto größer wird das Risiko (Werber, 2022, S. 39). CHRISTIAN DROSTEN, der das Institut für Virologie an der Charité in Berlin leitet, wurde im April 2020 bereits für seine Wissenschaftskommunikation mit einem Sonderpreis des Communicator-Preises der Deutschen Forschungsgemeinschaft ausgezeichnet (*Communicator-Preis 2020 geht an Robert Arlinghaus - einmaliger Sonderpreis für Christian Drostens*, 2020). Dieser wurde ihm dafür verliehen, dass er während der Pandemie als Stellvertreter der Wissenschaft dastand und -stehe und, dass er in den zwei Monaten von Beginn der Pandemie bis zur Verleihung in der Öffentlichkeit das Gefühl kreierte habe, sie könne sich am besten an der Wissenschaft als verlässlichste Quelle orientieren (Werber, 2022, S. 40). Bereits der Grund für die Ehrung impliziert, dass DROSTENS wissenschaftlicher Verdienst mit dem seiner Person vermischt wird. Die eigentliche Forschungsleistung wird mit nicht wissenschaftlichen Kriterien in Verbindung gebracht und der Forschende steht nicht mehr primär für seine Ergebnisse, sondern für das, was er im Rahmen seiner (temporären) öffentlichen Präsenz durch seine Ergebnisse bewegt hat (Werber, 2022, S. 41). Mehr und mehr verschwimmt die Person des Forschenden mit den Ergebnissen desselben. Seitens der Öffentlichkeit wird politische Motivation in die Kommunikation des Wissenschaftlers interpretiert, während er einen Preis dafür erhält, wie er sich in der Öffentlichkeit stellvertretend für die Wissenschaft positioniert. Trotz dieser Erkenntnisse, die im Rahmen von Forschung zur Wissenschaftskommunikation in der Pandemie entstanden und die eine Gefahr für den Wissenschaftler selbst darstellen, stieg das Vertrauen in den Jahren der Corona-Krise minimal, jedoch stetig, an. Der Wissenschaft vertrauten 60 Prozent der Befragten im Jahr 2020 eher oder voll und ganz, ein Jahr später waren es bereits 61 Prozent und noch ein Jahr später, 2022, waren es 62 Prozent. Vor der Pandemie lagen die Werte im Schnitt um zehn Prozent niedriger. Dies wird hauptsächlich (67 % der Befragten) mit dem Vertrauen in die Expertise der Forschenden begründet. Der dritthäufigste Grund ist die Orientierung der Wissenschaftler am Interesse der Öffentlichkeit (Haug, 2023, S. 9). Die in Kapitel 2.2.1 erwähnte Wissenschafts-Gesellschafts-Relation wird hier explizit. In diesem Kapitel wurde auch erläutert, dass MERTON die Grundsätze *Universalismus* und *Uneigennützigkeit* für eine Objektivität der Forschung postuliert. Durch die Orientierung der Forschungsinteressen an denen der

Öffentlichkeit wurden beide Grundsätze nicht erfüllt. Dadurch konnte im Kontext der Pandemie häufig nicht am Ethos der Wissenschaft festgehalten werden.

Auf der anderen Seite waren Staat, Wirtschaft und Politik von jetzt auf gleich so abhängig wie nie zuvor von der Grundlagenforschung, sowohl in den Natur- als auch in den Sozialwissenschaften (Ruhrmann & Daube, 2020, S. 8). Die DFG hat dazu in ihrer Stellungnahme im Jahr 2022 formuliert, dass die Forschung plötzlich vor der Herausforderung stand etwas zu erklären, was unerwartet eingetroffen war. Das war für die involvierten Wissenschaftler eine große Herausforderung, da sie ad hoc sowohl forschen als auch kommunizieren mussten. Die zeitlichen Ressourcen mussten noch effizienter als zuvor eingeteilt werden, um sowohl die Forschung schnellstmöglich voranzubringen, als auch die Kommunikation der Ergebnisse zeitnah zu präsentieren. Es wurde deutlich, dass es den Wissenschaftlern zumeist noch an den notwendigen Ressourcen für die Kommunikation ihrer Forschung fehlt. Sie wurden dahingehend nicht ausreichend ausgebildet und insbesondere in den Zeiten, in denen nicht nur die Ergebnisproduktion, sondern auch deren Kommunikation rapide erfolgen muss, sind diese Fähigkeiten unabdingbar (Brüggemann, 2022, S. 25).

In Österreich wurden die in der Pandemie direkt an der Wissenschaftskommunikation beteiligten Forschenden im Anschluss an die Corona-Krise nach ihrer Einschätzung der Situation gefragt. Auch die österreichischen Wissenschaftler wünschen sich mehrheitlich das Erlernen von Wissenschaftskommunikation, da sie diese sowohl als bedeutsamen Bestandteil ihrer Arbeit als auch als zentrale, jedoch nicht triviale Aufgabe sehen. Die Kompetenzen, die zur Kommunikation von Wissenschaft relevant sind, sollten verstärkt von den Institutionen vermittelt werden. Ebenso sollte diese Vermittlung bereits in die Ausbildung von Wissenschaftlern implementiert sein (Nölleke et al., 2022, S. 40). Auch die DFG ist der Ansicht, dass den Wissenschaftlern zukünftig vermehrt durch die Institution, zu der sie gehören, assistiert werden sollte (Brüggemann, 2022, S. 25). Die österreichischen Wissenschaftler schätzen, dass sich das Feld der Wissenschaftskommunikation nur weiter professionalisieren kann, wenn entsprechende Strukturen für die Wissenschaftler geschaffen werden (Nölleke et al., 2022, S. 41). Darüber hinaus sind sie auch der Meinung, dass es für die Wissenschaft obligatorisch ist, insbesondere in Zeiten der unzähligen alternativen Fakten, ihre Forschungsergebnisse verständlich aufzubereiten, sodass sie kommuniziert werden können. Sie stellen auch heraus, dass es schwierig ist, ihre wissenschaftlichen Forschungsergebnisse so zu

reduzieren, dass sie zeitgleich verständlich für die Gesellschaft und noch immer inhaltlich fehlerfrei sind (Nölleke et al., 2022, S. 40 f.). Dafür müssen jedoch nicht nur die Ergebnisse erstklassig sein, sondern auch der Weg, auf dem diese in die Öffentlichkeit getragen werden (Werber, 2022, S. 49). Da das sehr zeitintensiv ist, haben die befragten Forschenden aus Österreich Angst, dass die Kommunikation der Forschungsergebnisse mitsamt der Vorbereitung die Zeit der Produktion derselben einnimmt. So bliebe kaum noch Zeit für das zentrale Element ihrer Arbeit, die Forschung (Nölleke et al., 2022, S. 43). Aus diesem Grund ist es wichtig, dass eine entsprechende Ausbildung, die die für die Wissenschaftskommunikation notwendigen Fertigkeiten vermittelt, bereits erfolgt, bevor Forschende in die Position gelangen, in der sie plötzlich über ihre Forschung sprechen müssen.

Abzuwarten ist, inwiefern das nach der Pandemie jetzt stärker ausgeprägte Interesse an Wissenschaft in der Gesellschaft erhalten bleibt. Auch dieser Aspekt wird in der aktuellen Literatur zur Wissenschaftskommunikation diskutiert. HAUG zeigt dazu ein Zitat aus dem Jahr 1919 aus einem Vortrag von MAX WEBER⁴ auf. Dieses Zitat erweckt im Kontext der derzeitigen Entwicklungen den Anschein, hundert Jahre älter zu sein, als es wirklich ist. Es scheint besser in die heutige Zeit zu passen, als in die damalige (Haug, 2023, S. 12 f.).

„Die zunehmende Intellektualisierung und Rationalisierung bedeutet also nicht eine zunehmende allgemeine Kenntnis der Lebensbedingungen, unter denen man steht. Sondern sie bedeutet etwas anderes: das Wissen davon oder den Glauben daran: daß (sic!) man, wenn man nur wollte, es jederzeit erfahren könnte, daß (sic!) es also prinzipiell keine geheimnisvollen unberechenbaren Mächte gebe, die da hineinspielen, daß (sic!) man vielmehr alle Dinge – im Prinzip – durch Berechnen beherrschen könne. Das aber bedeutet: die Entzauberung der Welt.“

(Weber, 2011, S. 16 f.)

HAUG ergänzt, dass die große Bedeutsamkeit der Wissenschaft für die Gesellschaft nicht automatisch mit einem andauernden Interesse der Gesellschaft an den Erkenntnissen der Wissenschaft einhergeht (2023, S. 13). Es ist nicht vorhersehbar, ob das Interesse der Gesellschaft an der Wissenschaft so groß bleibt, wie es derzeit ist. Jedoch ist auch nicht vorauszusagen, ob das Interesse nicht aufgrund ungeahnter Umstände noch größer wird oder sich der Interessenschwerpunkt verschiebt.

⁴ Max Weber (1864-1920) war ein deutscher Soziologe, der durch seine Theorien zu einem der bedeutendsten Vordenker der Moderne wurde.

2.2.4 Wissenschaftskommunikation in Forschungsverbänden

Seit dem bereits erwähnten Grundsatzpapier des Bundesministeriums für Bildung und Forschung zur Wissenschaftskommunikation aus dem Jahr 2019 wird deutlich, dass von Forschungsverbänden, wie Graduiertenkollegs, auch externe Wissenschaftskommunikation gefordert wird. Im Grundsatzpapier wird die Vernetzung von Wissenschaft und Gesellschaft gefordert und anhand des Beispiels der *Fridays-for-Future*-Bewegung verdeutlicht, wie relevant das Einbringen von wissenschaftlichen Ergebnissen in die Gesellschaft ist. Auf diesem Weg werden Fragen in der Gesellschaft aufgeworfen, die zu einem Diskurs zwischen Wissenschaftlern und der Gesellschaft führen. Konkret sollen Wissenschaftler ihre eigene Forschungsarbeit in den Diskurs der Gesellschaft einbringen, indem sie Inhalte allgemeinverständlich formulieren und Zusammenhänge verdeutlichen.

Das Ziel ist die Selbstverständlichkeit von externer Wissenschaftskommunikation im wissenschaftlichen Arbeiten (*Grundsatzpapier des Bundesministeriums für Bildung und Forschung zur Wissenschaftskommunikation*, 2019). Das bedeutet, dass Forschende auf der einen Seite Wissenschaftskommunikation perspektivisch als ihrem Beruf inhärent betrachten und aus sich selbst heraus Wissenschaft, in Form ihrer eigenen Forschung, kommunizieren sollen. Für die Gesellschaft auf der anderen Seite bedeutet das ein tieferes Verständnis der Wissenschaft mit Blick auf die insbesondere in der Gegenwart relevanten Innovationen, und die Erkenntnis, welchen relevanten Beitrag Forschung und Entwicklung stets dazu leisten. SCHÄFER ET AL. vertreten die Ansicht, dass wissenschaftliches Wissen „das beste Wissen, das Individuen, Institutionen und Gesellschaften als Entscheidungsgrundlage zugänglich ist“ (2015, S. 11 f.), sei. Sie erklären ferner, dass wissenschaftliches Wissen den Vorzug habe, dass es systematisch und unter Kontrolle von Methoden gewonnen wird. Somit sei es auch intersubjektiv verständlich und in Relation zu anderen Inhalten verlässlich (Schäfer et al., 2015, S. 11).

Es wird deutlich, dass multilateral eine verstärkte Kommunikation von fachwissenschaftlichen Inhalten in die Gesellschaft verlangt wird. Für Forschungsverbände, wie das Graduiertenkolleg ModISC, bedeutet dies, dass sie nunmehr keine reine interne Wissenschaftskommunikation betreiben können. Forschungsverbänden ist die informelle interne Wissenschaftskommunikation inhärent, da sie darauf ausgelegt

sind, dass sich die Wissenschaftler über ihre Inhalte austauschen und interagieren (siehe Kapitel 2.2). Auf diese Weise profitieren die unterschiedlichen Disziplinen voneinander. Idealerweise sollen daraus Publikationen erwachsen, womit sich im Forschungsverbund die formelle interne an die informelle Wissenschaftskommunikation anschließt. Die externe Wissenschaftskommunikation ist Forschungsverbänden nicht per se inhärent. Durch die Forderung nach Kommunikation von Forschungsinhalten durch Wissenschaftler an die Gesellschaft wird die externe Wissenschaftskommunikation der Forschenden mehr und mehr gefordert.

2.2.4.1 Studie zur Wissenschaftskommunikation in Forschungsverbänden

Dieser Forderung nach der Umsetzung von Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen sind unter anderem drei Sonderforschungsbereiche (SFB) nachgekommen, die von einer Wissenschaftlerin begleitet wurden. Es wurde die Umsetzung der Maßnahmen in den SFB untersucht. JULIA GANTENBERG führte 2018 eine Studie mit dem Titel „Wissenschaftskommunikation in Forschungsverbänden“ (2018) durch. Sie untersuchte primär den derzeitigen Stand des Konzeptes Wissenschaftskommunikation aus Sicht der Wissenschaftler in unterschiedlichen Forschungsverbänden. Mit ihrer Studie knüpft sie an zwei vorausgegangene Studien, von RÖDDER (2009) und von HERRMANN-GIOVANELLI (2013) an. GANTENBERG untersuchte zum einen, wie drei verschiedene Sonderforschungsbereiche der Forderung nach der Kommunikation ihrer Wissenschaft begegnen und zum anderen wie die Wissenschaftler damit umgehen (Gantenberg, 2018, S. 22, S. 85). Insgesamt untersuchte GANTENBERG elf Postdoktoranden, sieben Professoren sowie zwei Doktoranden. Nachfolgend können unter dem Begriff Wissenschaftler daher alle drei akademischen Stufen verstanden werden. GANTENBERG legte den Fokus ihrer Studie auf die Wissenschaftler und deren Umgang mit sowie deren Einstellung zum Konzept Wissenschaftskommunikation (2018, S. 91). In den SFB gab es keine vorgegebenen Konzepte zur Durchführung von Wissenschaftskommunikation und die Sonderforschungsbereiche setzten sich mit der Forderung danach eigenständig auseinander. Dennoch gibt es einige Forderungen, die die DFG konkret an die Forschungsverbände richtet (siehe Kapitel 2.2.2). Im Unterschied zu dem in der vorliegenden Studie untersuchten Graduiertenkolleg bestehen Sonderforschungsbereiche

zum geringsten Anteil aus Doktoranden. Sie sind zumeist überwiegend aus Postdoktoranden, sowie Professoren zusammengesetzt.

In ihrer Untersuchung stellte GANTENBERG insbesondere fest, dass die Akteure in den SFB nicht wissen, was konkret von ihnen verlangt wird und sich unzureichend informiert fühlen, inwiefern das Verlangen nach Durchführung von Wissenschaftskommunikation begründet ist (2018, S. 242).

Die DFG erwartet, dass die Wissenschaftler von selbst eine Umsetzung der geforderten Öffentlichkeitsarbeit planen und durchführen und gibt wenig gedanklichen Anstoß, auf welche Weise diese Kommunikation stattfinden soll (Gantenberg, 2018, S. 131).

Auf Seiten der SFB führt das zu wenig Handlungssicherheit und dem Gefühl, nicht ausreichend angeleitet zu sein (Gantenberg, 2018, S. 148, 162). Darüber hinaus sehen die Wissenschaftler in den SFB ihr Aufgabenfeld primär innerhalb der Wissenschaftsgemeinschaft. Sie möchten sich profilieren, indem sie zielgerichtet forschen, publizieren und Konferenzen besuchen (Gantenberg, 2018, S. 118). Die vermeintlichen Standardaufgaben eines Wissenschaftlers sind auch heute noch primär präsent. Dass Wissenschaftskommunikation seitens der DFG gefordert wird, wissen die Forschenden und führen diese deshalb neben ihrer Arbeit durch (Gantenberg, 2018, S. 132). Sie wünschen sich jedoch beim Durchführen von Wissenschaftskommunikation, von Experten unterstützt zu werden. Im Idealfall stellen sie sich eine Anleitung durch einen Kommunikationsexperten vor, der das Konzept zur Wissenschaftskommunikation im Forschungsverbund organisiert (Gantenberg, 2018, S. 136). Das wiederum führt zu Widersprüchen, da die DFG sich die Umsetzung von Wissenschaftskommunikation durch die Ideen und Konzepte der Wissenschaftler wünscht (Gantenberg, 2018, S. 177, 239).

Von den Wissenschaftlern selbst geht in den geführten Interviews dazu der Wunsch nach einer Etablierung von Themen der Wissenschaftskommunikation in die Curricula der wissenschaftlichen Ausbildung aus. Dadurch könnte eine frühe Sozialisierung mit dem Konzept erfolgen (Gantenberg, 2018, S. 201 f., 258), wodurch der Forderung der DFG nach eigenständiger Konzeptionierung der Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen durch die Wissenschaftler in Forschungsverbänden leichter Rechnung getragen werden könnte.

Darüber hinaus wird seitens der Wissenschaftler vorgeschlagen, dass diese selbst kontinuierlich in der Wissenschaftskommunikation geschult werden sollten (Gantenberg, 2018, S. 201 f.). Das impliziert den Wunsch nach Fort- und Weiterbildungsangeboten auf diesem Gebiet.

Während der Zeit im Forschungsverbund möchten die Wissenschaftler derzeit vor allem forschen und sind intern sowohl durch die eigene Vorstellung ihres Tätigkeitsspektrums als auch durch das Forscherkollegium motiviert. Mit der forschenden Tätigkeit einher geht die interne Wissenschaftskommunikation (siehe Kapitel 2.2), die der Forschung inhärent ist. GANTENBERG bezeichnet das als Forschungskommunikation, die eine andere Kompetenz im Bereich der Kommunikation verlangt. Zugleich sagen die befragten Wissenschaftler aus, dass sie in ihrer Forschung permanent neues Wissen kreieren, was in die Gesellschaft gebracht werden muss, um einen gesamtgesellschaftlichen Progress zu fördern (Gantenberg, 2018, S. 140). Die Wissenschaftler befinden sich in einer andauernden Diskrepanz verschiedener Ansprüche an sich selbst. Daher möchten sie sowohl ihr Zeitkontingent, als auch den Aufwand, den sie in die Erstellung von Konzepten zur Wissenschaftskommunikation stecken, selbst definieren (Gantenberg, 2018, S. 238).

Neben dem Aspekt der geringen verbleibenden Zeit (Gantenberg, 2018, S. 75, 77, 229 f.), der ein großer Einfluss auf die Wahrnehmung der Wissenschaftler hinsichtlich der Umsetzung von Wissenschaftskommunikation ist, hat GANTENBERG als einen weiteren Einflussfaktor ermitteln können, dass den Wissenschaftlern die Bedeutung von Wissenschaftskommunikation für ihre berufliche Laufbahn nicht hinreichend bekannt ist (2018, S. 247).

Vielmehr sehen sie die Kommunikation ihrer Forschungsinhalte als ihre moralische Pflicht an, da die Forschung von Steuergeldern finanziert werde (Gantenberg, 2018, S. 75, 178). Darüber hinaus sind sich die Wissenschaftler bewusst, dass sie über einen privilegierten Zugang zu Informationen verfügen, indem sie forschen können (Gantenberg, 2018, S. 75). Außerdem wurde seitens der Wissenschaftler erkannt, dass neben der subjektiv wahrgenommenen Verpflichtung zur Öffentlichkeitsarbeit durch dieselbe auch eine Imageverbesserung erfolgen kann. Wissenschaftskommunikation kann in der Einschätzung der Wissenschaftler insbesondere dann positiv konnotiert sein, wenn wissenschaftsintern bereits Anerkennung für die Forschung erhalten wurde (Gantenberg, 2018, S. 51).

GANTENBERG stellt heraus, dass die Wissenschaftler auch an der Meinungsbildung in der Gesellschaft beteiligt sind, indem sie in ihrer Expertenrolle auftreten (2018, S. 145).

Unter den Wissenschaftlern existiert ein großer Wunsch nach expliziten Formulierungen der Geldgeber, in denen deutlich wird, in welcher Form Wissenschaftskommunikation gefordert ist. Außerdem müssen die Wissenschaftler in derselben geschult und weitergebildet werden. Auch hier müssen die Forschungsförderer aktiv werden (Gantenberg, 2018, S. 77).

Deutlich wird in GANTENBERGS Studie, dass die Mehrzahl der Hochschulen kein Konzept hat, um Wissenschaftskommunikation umzusetzen (2018, S. 70). Die Wissenschaftler kennen zwar Maßnahmen, um ihre Forschung zu kommunizieren, jedoch wäre ein feststehendes Konzept zur weiteren Etablierung von großer Bedeutung (Gantenberg, 2018, S. 173).

GANTENBERG vermutet, dass es sich um eine Anforderungsdiskrepanz handelt, die dem System inhärent ist (2018, S. 248).

Ferner stellt sie bei der Befragung von DFG-Mitarbeitern fest, dass diese die Verantwortung zur Wissenschaftskommunikation an die SFB abgeben möchten, um so ein Erarbeiten von Konzepten für ebenjene zu erzwingen. Auf diese Weise möchte die DFG perspektivisch Beispiele des *Best-Practice* sammeln, sodass diese den zukünftig von ihr geförderten Forschungsverbänden zur Orientierung dienen können (Gantenberg, 2018, S. 131).

Eine der wichtigsten Erkenntnisse, die über die Einstellung der Wissenschaftler in den Forschungsverbänden hinausgeht, ist, dass die DFG die größte Erwartungshaltung in dem von GANTENBERG untersuchten Konstrukt hat. Sie erwartet Wissenschaftskommunikation von den Wissenschaftlern, ohne konkrete Anweisungen zu geben. Das macht deutlich, dass sie die Initiative zur Erstellung von geeigneten Konzepten bei den Wissenschaftlern sieht. Die DFG möchte, dass die Wissenschaftler die Maßnahmen zur Wissenschaftskommunikation planen, konzipieren und durchführen (Gantenberg, 2018, S. 136).

2.3 Selbstwirksamkeit

Bei der Selbstwirksamkeit handelt es sich um ein psychologisches Konstrukt, welches 1977 eindrücklich und bis in die heutige Zeit nachhaltig durch ALBERT BANDURA vor dem Hintergrund seiner sozial-kognitiven Lerntheorie postuliert wurde (Egger, 2015, S. 43). BANDURA war von 1952 bis 1990 Professor für *Social Science in Psychology* an der Stanford University. Der Begriff war damals ein Neologismus, der heute erst in neueren Ausgaben von Nachschlagewerken und Lexika zu finden ist (Fuchs, 2005, S. 17).

Bei einem psychologischen und somit hypothetischen Konstrukt handelt es sich um ein Merkmal einer Person oder um deren Eigenschaften, die nicht sichtbar sind. Sie werden

lediglich im Kontext des Verhaltens der Person erkennbar. Gleichermaßen sind Konstrukte stets theoriebasiert (Imhof, 2012, S. 23). Ein reines Erschließen aus den Verhaltensweisen ist somit ausgeschlossen.

Die sozial-kognitive Theorie besagt, dass Menschen an ihren kognitiven Prozessen mitwirken und nicht allein durch innere Einflüsse oder die der Umwelt geleitet werden (Krapp & Ryan, 2002, S. 66 f.).

BANDURAS Ansatz wurde von ihm und wird bis heute von anderen stets überarbeitet, insbesondere RALF SCHWARZER hat mit und nach BANDURA das psychologische Konstrukt nachhaltig beeinflusst. Unter anderem entwickelte er in Zusammenarbeit mit MATTHIAS JERUSALEM die heute deutschlandweit etablierten Testungen zur Selbstwirksamkeit.

BANDURA beschreibt das Konstrukt der Selbstwirksamkeit originär indem er versucht psychologische Veränderungen, die durch unterschiedliche Behandlungsmodi erreicht wurden, vorherzusagen und zu erklären. Dazu nimmt er an, dass die Erwartungen an die persönliche Wirksamkeit bestimmen, welche Bewältigungsstrategien gewählt werden, wie viel Aufwand in ein Vorhaben gesteckt wird und wie lange ein bestimmtes Verhalten im Hinblick auf Hindernisse und aversive Erfahrungen andauert (1977, S. 191).

SCHWARZER UND JERUSALEM definieren die Selbstwirksamkeitserwartung als „subjektive Gewissheit, neue oder schwierige Anforderungssituationen auf Grund eigener Kompetenzen bewältigen zu können.“ (2002, S. 35).

Sie ist ein Maß dafür, wie effizient sich eine Person im Hinblick auf eine spezifische Situation einschätzt (Fuchs, 2005, S. 24).

2.3.1 Selbstwirksamkeitserwartung

Die Begriffe Selbstwirksamkeit und Selbstwirksamkeitserwartung werden weitläufig sowohl in der deutschsprachigen, als auch in der englischsprachigen Literatur synonym verwendet. Nach der Literaturrecherche ist empirisch anzunehmen, dass die Selbstwirksamkeit überwiegend das hypothetische Konstrukt selbst beschreibt, während die Selbstwirksamkeitserwartung das kognitiv wahrnehmbare Resultat darstellt. Die Trennung der beiden Begriffe führt auch EGGER 2015 durch, der die Selbstwirksamkeit als Konstrukt und die Selbstwirksamkeitserwartung logisch konsequent als Phänomen

bezeichnet. Mit dem letzteren Begriff ist nach EGGER die individuelle, intrinsische Überzeugung gemeint, durch die eigenen Fertigkeiten ein Ziel erreichen zu können (2015, S. 43). Besitzt eine Person eine hohe Selbstwirksamkeit hinsichtlich eines konkreten Aspektes, so ist das sich Bewusstmachen dessen und insbesondere die daraus abgeleitete Erwartung für die nächste vergleichbare Situation die Selbstwirksamkeitserwartung.

BANDURA beschreibt die Selbstwirksamkeitserwartung als die persönliche Überzeugung von den eigenen Fähigkeiten. Diese Fähigkeiten dienen dazu, gewisse Leistungsniveaus zu erreichen, die Ereignisse beeinflussen, die sich wiederum direkt auf das eigene Leben auswirken. Die Selbstwirksamkeitserwartung bestimmt, wie sich Menschen im Hinblick auf bestimmte Situationen fühlen sowie ihr Denken, die Motivation und ihr Verhalten (1998, S. 2). Die verschiedenen Aspekte werden als intrinsische Überzeugung einer Person zusammengefasst, dass die eigenen Fähigkeiten ausreichen, um in herausfordernden Situationen erfolgreich zu sein (Schiebelsberger, 2022, S. 68).

SCHWARZER UND JERUSALEM bezeichnen das Phänomen der Selbstwirksamkeitserwartung als innere Gewissheit, neue Anforderungen bewältigen zu können. Dabei legen sie Wert darauf, dass es sich bei den neuen Herausforderungen nicht um solche handelt, die durch routiniertes Herangehen realisierbar sind. Vielmehr handelt es sich um Aufgaben, die größeres Engagement und eine ausdauernde Haltung verlangen (2002, S.35). Die innere Gewissheit, die SCHWARZER UND JERUSALEM erwähnen, beschreibt EGGER als Vertrauen in die eigenen Fähigkeiten, dem ein grundlegender Optimismus innewohnt. EGGER erwähnt explizit eine deutliche Korrelation zwischen den beiden Konstrukten Optimismus und Selbstwirksamkeit. Die Selbstwirksamkeitserwartung kann hinsichtlich einer Änderung des individuellen Verhaltens als eine der einflussreichsten Kognitionen beschrieben werden (2015, S. 44).

Das Phänomen der Selbstwirksamkeitserwartung wird nach FUCHS aus drei Hauptbestandteilen zusammengesetzt, die sich aus BANDURAS Definition von 1995 ableiten lassen (Fuchs, 2005, S.18 ff.).

“Perceived self-efficacy refers to beliefs in one’s capabilities to organize and execute the courses of action required to manage prospective situations”

(Bandura, 1995, S. 2)

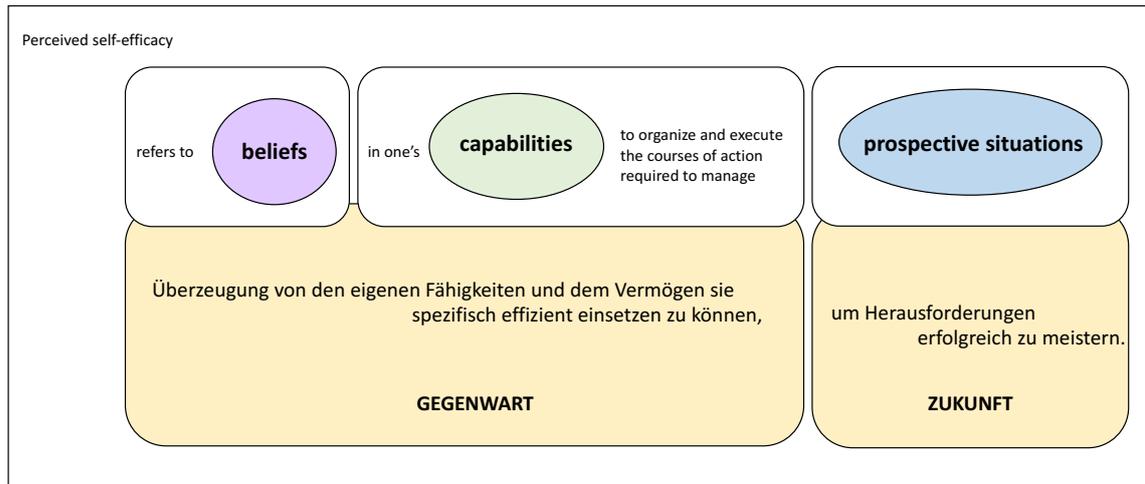


Abbildung 2: Graphische Darstellung von BANDURAS Definition zur Selbstwirksamkeitserwartung (in Anlehnung an: Fuchs, 2005, S. 17).

Dabei handelt es sich um die Überzeugungen (*beliefs*), die Fähigkeiten (*capabilities*) und die zukünftigen Situationen (*prospective situations*), die mitunter als Herausforderungen, Ereignisse oder auch als Ziele bezeichnet werden. In Abbildung 2 wird deutlich, dass der Glaube an, und somit die Überzeugung von den eigenen Fähigkeiten im Jetzt liegen. Das schließt ein, dass auch die Fähigkeiten bereits gegenwärtig existieren und die betreffende Person sich dessen bewusst ist. Darüber hinaus antizipiert die Person in der Gegenwart, dass die Fähigkeiten für das erfolgreiche Bestehen der in der Zukunft liegenden expliziten Herausforderungen ausreichen werden. Die Zukunft spielt im Konstrukt der Selbstwirksamkeit ebenso wie die Gegenwart eine Rolle.

2.3.2 Selbstwirksamkeitserwartung und Handlungsergebniserwartung

Neben der Selbstwirksamkeitserwartung existiert in der kognitiven Psychologie noch der Begriff der Handlungsergebniserwartung. Beide Begriffe sind voneinander zu trennen. Die Selbstwirksamkeitserwartung ist das Konzept, welches vor dem eigentlichen Verhalten existiert (Bandura, 1997, S. 21 f.). Dabei beschreibt sie die eigens antizipierte Fähigkeit, ein Verhalten in einem bestimmten Kontext durchzuführen. Die Handlungsergebniserwartung hingegen beschreibt das Ergebnis der inneren Analyse der Ergebnisse des vorausgegangenen Verhaltens. Es kann aus Erfolgen oder Misserfolgen des vorherigen Verhaltens und einer Attribution der Ursachen auf mögliche Erwartungen in

den folgenden Situationen resultieren (Egger, 2015, S. 45). Der grundlegende Unterschied ist, dass sich die Selbstwirksamkeitserwartung allein auf Basis der Überzeugung von den eigenen, immanenten Fähigkeiten gründet. Die Handlungsergebniserwartung beruht bereits auf den Ergebnissen der eingesetzten Fähigkeiten und beschreibt darüber hinaus die daraus abgeleitete Einschätzung, inwiefern das eigene Handeln in der neuen Situation zum Erfolg führen kann.

2.3.3 Quellen zur Entwicklung der Selbstwirksamkeitserwartung

Im Laufe der Jahre wurden vier verschiedene Quellen herausgestellt, die grundlegend sowohl bestärkend als auch abschwächend auf die Entwicklung der Selbstwirksamkeitserwartung einwirken.

Die Stärke des Einflusses differiert. Den geringsten Effekt hat nach BANDURA die Wahrnehmung der eigenen Gefühle, die er als *emotional arousal* bezeichnet (1977, S. 195). Damit meint er, dass Menschen häufig dazu neigen, ihre eigenen Stressreaktionen und Anspannungen als Anzeichen für die Anfälligkeit einer schlechten Leistung zu interpretieren (Bandura, 1998, S. 3). Ein Beispiel dafür ist die Aufregung von Lernenden in der Schule kurz vor einer Klassenarbeit. Diese Aufregung kann im Betroffenen die *emotional arousal* auslösen, die in dem Moment erforderlichen Kompetenzen nicht zu haben. In die große Erregung wird ein Hinweis hineininterpretiert. Die Interpretation führt dazu, dass eine erfolglose Herangehensweise an das Problem erwartet wird. Um diesen Effekt zu minimieren muss eine kognitive Veränderung stattfinden; der Lernende muss die Selbstwirksamkeitserwartung maximieren. Dadurch wird bereits das Erwarten der Aufregung vor Eintritt der spezifischen Situation reduziert. Den nächststärkeren Einfluss hat das, was BANDURA 1977 als *verbal persuasion* (1977, S. 195) und später als *social persuasion* (1998, S. 3) bezeichnet. Damit ist im Wesentlichen der gute Zuspruch, mehr noch die Überredung des sozialen Umfeldes gemeint. Wenn das Umfeld einem Menschen suggeriert, dass er etwas schaffen kann, betreibt dieser einen größeren Aufwand, um das Ziel zu erreichen; selbst wenn Selbstzweifel aufkommen, verliert er das Ziel nicht aus den Augen (Bandura, 1997, S. 101 ff.). SCHWARZER UND JERUSALEM argumentieren erneut im Schulkontext, da sie eine Überredung durch eine als kompetent wahrgenommene Person beschreiben. Das ist der Optimalfall der *social persuasion*.

Wenn eine Lehrperson einem Schüler zurückmeldet, dass er eine komplizierte Aufgabe lösen konnte, weil er über eine große Kompetenz verfügt, so fördert er die Selbstwirksamkeit des Schülers. Weist der Lehrer einen Schüler, der nicht erfolgreich war, darauf hin, dass er sich nicht ausreichend angestrengt hat, so bleibt die Selbstwirksamkeit erhalten, wenn der Schüler der Lehrperson vertraut. Zukünftige Fortschritte des Schülers bleiben weiterhin denkbar. Wichtig ist, dass diese Aussagen im realistischen, glaubhaften Kontext gemacht werden und nicht inflationär. Anderenfalls kann die Selbstwirksamkeit geschwächt werden (Schwarzer & Jerusalem, 2002, S. 44 f.). Auch BANDURA betont diesen Aspekt: unrealistische verbale Förderung der Selbstwirksamkeit steigert die Wahrscheinlichkeit des Misserfolgs (1997, S. 101). Selbstwirksamkeit kann durch gutes Zureden, insbesondere von für kompetent erachteten Personen, gestärkt werden.

Die zweitstärkste Quelle, die die Entwicklung von Selbstwirksamkeit beeinflusst ist das, was BANDURA als *vicarious experience* (1977, S. 195) bezeichnet. Selbstwirksamkeitserwartungen stehen im engen Zusammenhang mit den Erfahrungen, die wir Menschen machen. Doch nicht jede Situation ist erfahrbar, entweder aus zeitlichen Gründen, oder weil sich die Gelegenheit nicht bietet. An dieser Stelle können soziale Modelle als Ersatz fungieren (Schwarzer & Jerusalem, 2002, S. 43). Beobachten wir eine andere, uns ähnliche Person dabei, dass sie durch stetiges Bemühen ihre Ziele erreicht, so wächst in uns die Überzeugung, dass wir ebenfalls ausreichend befähigt sind, vergleichbare Herausforderungen erfolgreich zu bestehen. Auf der anderen Seite ist es ebenfalls möglich, dass sich die eigenen Anstrengungen minimieren, wenn wir jemanden beobachten, der trotz größter Anstrengung sein Ziel nicht erreicht (Bandura, 1998, S. 3). Die Selbstwirksamkeitserwartungen werden somit auch dadurch beeinflusst, wie wir andere, uns ähnliche Personen und deren Erfolge oder Misserfolge wahrnehmen.

Den größten Einfluss auf unsere Selbstwirksamkeitserwartung hat somit die Grundlage, die BANDURA 1977 als *performance accomplishments* (1977, S. 195) und 1994 schließlich als *mastery experiences* (1998, S. 2) bezeichnet. Erfolg ist die größte Quelle zur Stärkung der Selbstwirksamkeitserwartung. Dabei ist es entscheidend, dass der Erfolg auf die eigenen Fähigkeiten zurückgeführt wird und nicht auf Glück oder andere äußere Umstände. Einen Lotto-Gewinn zu erhalten beeinflusst die Selbstwirksamkeit nicht. Misserfolge, die nicht durch das äußere Umfeld, sondern durch die eigene Person bedingt sind, schwächen die Selbstwirksamkeit ab (Schwarzer & Jerusalem, 2002, S. 42). Dabei ist es entscheidend, ob dem Misserfolg bereits eine Stärkung der Selbstwirksamkeit durch einen Erfolg vorausgegangen ist. Wurde eine ähnliche Situation bereits erfolgreich gelöst, beeinträchtigt

ein späterer Misserfolg die Selbstwirksamkeit kaum. Stattdessen wird der Misserfolg konstruktiv im eigenen Verhalten verankert, indem Ziele noch stärker fokussiert werden. Dadurch, dass Menschen Erfahrungen darin sammeln, Hindernisse durch kontinuierlichen Aufwand überwinden zu können, entwickelt sich ein belastbares Gefühl für die eigene Selbstwirksamkeit (Bandura, 1998, S. 2 f.; Schwarzer & Jerusalem, 2002, S. 42). Wenn Menschen hingegen ausschließlich Erfolge erzielen, für die sie subjektiv kaum eine Leistung erbringen mussten, so entwickeln sie langfristig die Erwartung, dass sie stets mit wenig Aufwand Ergebnisse erzielen werden. Sobald ihnen etwas nicht gelingt, sind sie schnell entmutigt (Bandura, 1998, S. 2). BANDURA ergänzt, dass einige Widrigkeiten und Rückschläge im menschlichen Streben häufig dazu führen, dass erkannt wird, dass Erfolg für gewöhnlich stetiges Bemühen verlangt (1998, S. 3).

2.3.4 Beeinflussung durch Selbstwirksamkeit

Laut ERNST wird unser Verhalten in vier Bereichen ganz besonders durch die eigene Selbstwirksamkeit bestimmt. Zum einen suchen wir uns vor diesem Hintergrund aus, welche Ziele wir uns setzen. Um ein Ziel ins Auge zu fassen, müssen wir davon überzeugt sein, dieses auch erreichen zu können. Darüber hinaus entscheidet die Selbstwirksamkeit auch darüber, wie viel Aufwand und Energie wir in das Erreichen der Ziele stecken. Sie determiniert beispielsweise, ob wir nach einem temporären Misserfolg weiterhin daran arbeiten, das ursprüngliche Ziel zu erreichen. Daran schließt direkt an, dass all unsere Gedanken auch davon bestimmt werden, was wir uns zutrauen. Haben wir Menschen das Gefühl, Vieles schaffen zu können, machen wir die eigenen Kompetenzen eher für das verantwortlich, was wir erreichen. Daraus ergibt sich für ERNST, dass letztendlich auch Erfolge vom Konstrukt der Selbstwirksamkeit abhängig sind. Dadurch, dass wir positive Erfahrungen im Hinblick auf das Erreichen von Zielen machen, werden wir darin bestärkt, allen weiteren Hindernissen optimistisch entgegenzusehen (2001).

BANDURA bestätigt diese Annahme von ERNST. Das, was wir fühlen und denken, sowie unsere sozialen Interaktionen und nicht zuletzt auch das Vertrauen darauf, Herausforderungen meistern zu können, prägen uns als Person. Diese Aspekte beeinflussen, wie wir uns entscheiden, wie wir uns beruflich orientieren und was unsere individuelle Natur ausmacht (Seethaler, 2012, S. 201).

Vor diesem Hintergrund wird das Konstrukt der Selbstwirksamkeit zunehmend auch im Kontext Schule und Bildung untersucht. Dabei werden insbesondere persönliche Merkmale sowie Faktoren der schulischen Umgebung, die Einfluss auf die Selbstwirksamkeit haben, untersucht. Von großem Interesse ist, inwiefern die Überzeugung, selbstwirksam zu sein beeinflusst, wie wir lernen, uns motivieren, Leistung erbringen und uns selbst regulieren können. Viele Untersuchungen konnten bereits zeigen, dass eine positive Einstellung hinsichtlich der Selbstwirksamkeit eine obligatorische Bedingung für eine kreative Herangehensweise an neue Herausforderungen ist. Auch werden individuelle Prozesse innovativer und ausdauernder gestaltet (Schwarzer & Jerusalem, 2002, S. 36).

Ferner wird die Selbstregulation, die das persönliche Setzen von Zielen, sowie die Bereitschaft, ausdauernd zu arbeiten, inkludiert, direkt durch die Selbstwirksamkeit beeinflusst. Dabei konnte festgestellt werden, dass die Beeinflussung nahezu unabhängig von den reell vorhandenen Fähigkeiten ist. Dies wurde am Beispiel von Kindern erhoben. Es wurde gezeigt, dass Kinder mit einer erhöhten Selbstwirksamkeit ausdauernder und angestrenzter arbeiten und somit insgesamt einen größeren Erfolg erzielen als solche mit den gleichen Fähigkeiten und einer geringeren Selbstwirksamkeit. Das wiederum wird dadurch begründet, dass sie flexibler mit Problemlöseprozessen umgehen, sich Zeiten besser einteilen und die eigenen Resultate besser reflektieren können (Schwarzer & Jerusalem, 2002, S. 36 ff.).

Darüber hinaus wurden auch Studien zur Selbstwirksamkeit von Lehrpersonen durchgeführt. Lehrpersonen mit einer geringen Selbstwirksamkeit präferieren tendenziell eine simple, jedoch sichere Unterrichtsplanung. An die Ergebnisse der Untersuchung mit den Kindern anschließend, meiden sie eine vielseitige und innovative Planung, um das Gefühl von Überforderung zu vermeiden. Es fehlt ihnen zudem an Motivation eine gute und anschauliche Unterrichtsstunde durchzuführen, da sie nicht auf ihre eigenen Kompetenzen vertrauen (Schwarzer & Jerusalem, 2002, S. 39).

2.3.5 Allgemeine, bereichsspezifische und situationsspezifische Selbstwirksamkeitserwartung

Die Ergebnisse zur Selbstwirksamkeit der Schüler und Lehrer basieren auf dem Konzept der bereichsspezifischen Selbstwirksamkeitserwartung.

Das Konstrukt Selbstwirksamkeit kann eingeteilt werden in die allgemeine, die bereichsspezifische und die situationsspezifische Selbstwirksamkeit, wobei die bereichsspezifische Selbstwirksamkeitserwartung zwischen der allgemeinen und der situationsspezifischen eingeordnet werden kann. Nachfolgend werden die drei verschiedenen Subkategorien anhand von Beispielen aus den Skalen von SCHWARZER UND JERUSALEM verdeutlicht.

Die allgemeine Selbstwirksamkeitserwartung gibt eine Auskunft über die allgemeine Kompetenz, das Leben zu bewältigen. „Schwierigkeiten sehe ich gelassen entgegen, weil ich immer auf meine Fähigkeiten vertrauen kann“ oder „Wenn ein Problem auftaucht, kann ich es aus eigener Kraft meistern“ (Schwarzer & Jerusalem, 1999, S. 57; 2002, S. 40) sind Beispiele für die allgemeine Selbstwirksamkeit.

Die situationsspezifische Selbstwirksamkeitserwartung wird beschrieben durch die subjektive Gewissheit, dass Handlungen auch bei Beeinflussung durch Barrieren erfolgreich durchgeführt werden können (Schwarzer & Jerusalem, 2002, S. 39 f.). Beispielhaft kann formuliert werden: „Ich bin sicher, dass ich den ganzen Abend eisern arbeiten kann, auch wenn andere mich zum Fernsehen einladen“ (Schwarzer & Jerusalem, 2002, S. 39).

Die bereichsspezifische Selbstwirksamkeitserwartung bezieht sich immer auf konkrete Kontexte, wie oben bereits im Kontext Schule erläutert (siehe Kapitel 2.3.4).

Für die Schule ist ein Beispiel aus Lehrersicht, das bei SCHWARZER UND SCHMITZ formuliert wurde: „Ich weiß, dass ich es schaffe, selbst den problematischsten Schülern den Stoff zu vermitteln“. Aus Schülersicht wird in der Skala von JERUSALEM UND SATOW formuliert: „Auch wenn der Lehrer/ die Lehrerin an meinen Fähigkeiten zweifelt, bin ich mir sicher, dass ich gute Leistungen erzielen kann“ (1999, S. 15).

Es wird deutlich, dass es nicht die eine Selbstwirksamkeit gibt. Je nach Situation und Ereignis kann die Selbstwirksamkeit unterschiedlich ausgeprägt sein.

2.4 Curriculare Innovationsforschung

Die curriculare Innovationsforschung hat sich im Bereich der Chemiedidaktik in den letzten Jahren stark etabliert. TAUSCH erläutert 2008, dass „(...) curriculare Innovationsforschung bedeutet, neue Partituren für den Chemieunterricht zu komponieren.“ (2008, S. 72).

Das ist von großer Relevanz, da die Differenz zwischen den im Chemieunterricht gelehrt Inhalten und der aktuellen Forschung im Fachbereich Chemie immer größer wird. Dies liegt begründet in dem schnellen Voranschreiten der letztgenannten. GUST beschreibt dieses Phänomen und dessen Lösungsansatz durch curriculare Innovationsforschung metaphorisch sehr passend mithilfe der Halbleitertechnik (siehe Abbildung 3).

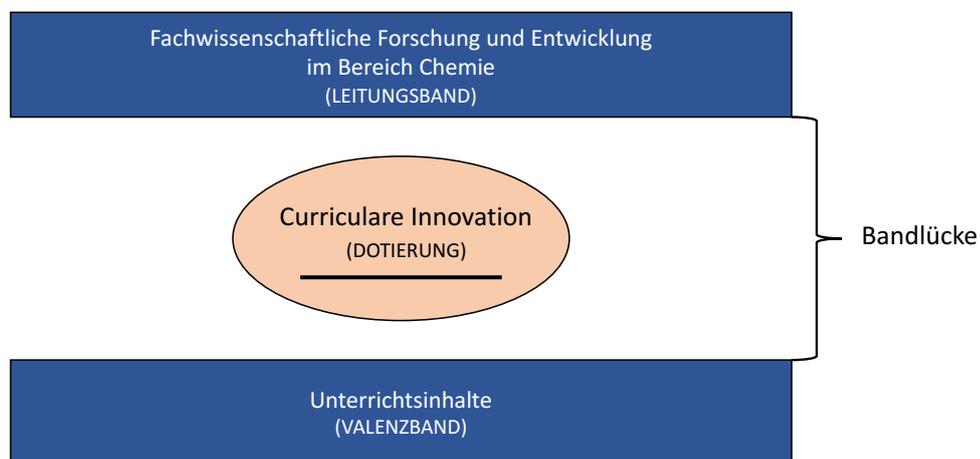


Abbildung 3: Die Curriculare Innovation als Dotierung zwischen Unterrichtsinhalten und fachwissenschaftlicher Forschung (in Anlehnung an: Gust, 2022, S. 15).

Die Bandlücke beschreibt die Differenz zwischen fachwissenschaftlicher Forschung, hier als Leitungsband dargestellt, und den Unterrichtsinhalten, hier als Valenzband dargestellt. Sie ist tendenziell eher als Bandlücke eines Isolators aufzufassen und kann durch Dotierung optimiert werden. Der Dotierung entspricht im Modell GUSTS die curriculare Innovation, die im Unterricht eingesetzt wird, um die Lernenden näher an die aktuelle Forschung im Fachbereich Chemie heranzuführen. Dadurch wird das Überwinden der (Band-)Lücke für den Unterricht und die Lernenden vereinfacht (Gust, 2022, S. 15 f.).

2.4.1 Definition

Nach TAUSCH bedeutet curriculare Innovationsforschung die didaktische Erschließung von aktuellen Themen aus Wissenschaft, Umwelt, Technik und Leben, die perspektivisch relevant für die Lernenden sein werden. Diese Erschließung bedarf fünf Schritte, die über die Entwicklung des Experimentes hinausgehen. Nachdem neue experimentelle Zugänge erschlossen wurden (1), müssen diese in existierende didaktische Konzepte eingegliedert werden (2). Dies gelingt durch die Einbindung von digitalen und analogen Medien (3). Anschließend muss ein Unterrichtsdesign entwickelt werden, welches die Lehr- und Lernbausteine abdeckt (4). Abschließend wird die bereits in die Kontexte eingebundene Innovation durch Reflexionen und Erhebungen evaluiert und optimiert (5) (2019, S. 43). Deutlich wird, dass die Schritte zwei bis vier der Entwicklung von der Erfindung hin zur Innovation Rechnung tragen.

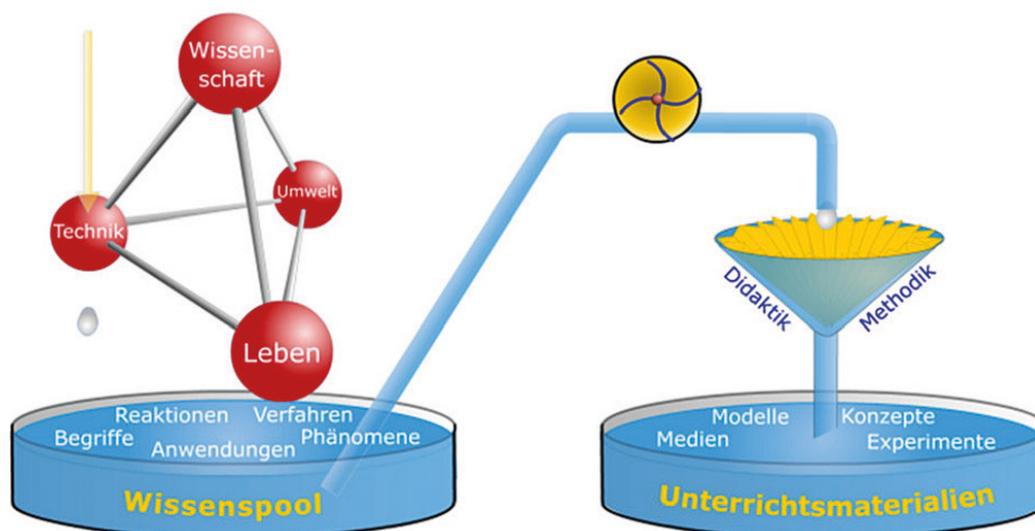


Abbildung 4: Funktionsmodell der Curricularen Innovationsforschung (Parchmann et al., 2017, S. 162).

In der Abbildung 4 werden die Schritte eins bis vier bildlich dargestellt. Den Schritten voraus geht das Identifizieren und Herauslösen innovativer Aspekte, wie beispielsweise Anwendungen, Verfahren oder Reaktionen aus den Bereichen der Wissenschaft, Technik, Umwelt oder des Lebens (Parchmann et al., 2017, S. 162). Auf diese Weise entsteht ein Wissenspool und es folgen die Schritte eins bis vier (Tausch, 2019, S. 43). Aus dem Pool an Wissen werden als geeignet identifizierte Aspekte durch den didaktisch-methodischen Filter gepumpt. Aus diesem Filter treten sie in Form von Modellen, Konzepten, Medien

oder Experimenten heraus und das Filtrat stellt zusammengenommen den Pool neuer, innovativer Unterrichtsmaterialien dar. Als Rückstand verbleiben im Filter ungeeignete Anwendungen, Reaktionen usw., die nicht durch didaktische Reduktion und geeignete Methoden für die Anwendung im Unterricht adaptiert werden können.

Da bei der curricularen Innovationsforschung auch gänzlich neue Inhalte für die Lehre erschlossen werden sollen, ist eine tiefe fachliche Recherche an dieser Stelle unumgänglich (Parchmann et al., 2017, S. 162).

An diese vier experimentell-konzeptionellen Schritte schließt der fünfte Schritt an, der den empirischen Forschungsaspekt abdeckt. TAUSCH betrachtet den Begriff *Curriculare Innovation* als die Neuerung von Lehrinhalten im Hinblick auf das Was, das Wie und das Womit. Dabei ist die permanente Adaption an die aktuell neusten Erkenntnisse in der Wissenschaft, die neusten Entwicklungen in der Technik und dem gesellschaftlichen Lebenswandel ausschlaggebend (2019, S. 42).

Wird die experimentell-konzeptionelle Entwicklung der Lerninhalte und der Aspekt der empirischen Forschung zusammengefasst, kann von curriculärer Innovationsforschung gesprochen werden. Eine curriculare Innovation wird im Unterricht kontextualisiert, anschließend evaluiert und in Schleifen optimiert.

2.4.2 Anforderungen an die Curriculare Innovationsforschung

Der Begriff *Curriculare Innovation* ist jedoch nicht erst seit MICHAEL TAUSCH in der Lehr- und Lernforschung bekannt. Bereits 1981 befasst sich LEITHWOOD mit dem Phänomen und beschreibt, was wichtig ist, um der Aufgabe der Innovation in der Lehre gerecht zu werden. Er stellt die Anforderungen und auch die Herausforderung curriculärer Innovationsforschung in den Mittelpunkt seiner Arbeit. Dazu werden verschiedene Aspekte benannt, die bei der Planung und Durchführung zu beachten sind: die Plattform, die Ziele, die vorhandenen Kompetenzen der Lernenden, das Überprüfen des Lernerfolgs, die Begleitmaterialien, die Erfahrung der Lernenden, Lehrstrategien, die Inhalte und die Zeit. Nachfolgend wird auf einige dieser Aspekte näher eingegangen, da sie auch im aktuellen Verständnis von curriculärer Innovation noch von Bedeutung sind.

Die Plattform bezeichnet den genauen Lernkontext, in dem die Innovation eingesetzt wird. Zumeist muss diese während der Implementation, den Schritten 2-5 bei MICHAEL TAUSCH,

mehrfach modifiziert werden oder es wird festgestellt, dass Innovationen in weitere, verschiedene Kontexte eingebunden werden können (Leithwood, 1981, S. 27 f.). Die Fernziele des Curriculums müssen ebenfalls in Betracht gezogen werden. Diese können zum einen inhaltlicher Art und zum anderen aus den Lerninhalten resultierende Verhaltensweisen oder pädagogische Ambitionen sein. Besondere Aufmerksamkeit sollte das sogenannte *student entry behaviour* (Leithwood, 1981, S. 28) erhalten. Dieses fasst die Kompetenzen zusammen, die Lernende mitbringen sollten, um im Kontext der Innovation arbeitsfähig zu sein und sollte vor Beginn der Arbeit identifiziert werden. Sie unterliegen einer kritischen Menge an Annahmen, die gemacht werden müssen. Das *student entry behaviour* begrenzt, ähnlich der Ziele, die Verantwortlichkeit der Lehrenden, da nur eine explizite Auswahl an Kompetenzen vorausgesetzt werden kann. Sind diese nicht vorhanden, so kann ein vollständiger Lernerfolg nicht erwartet werden. Dennoch sollten diese Fähigkeiten im Kontext curriculärer Innovationen in Bezug zum Curriculum gesetzt werden, um aufzuzeigen, welche Vorarbeiten und welches Vorwissen Voraussetzung für das Gelingen der Arbeit mit der Innovation sind (Leithwood, 1981, S. 28 f.). Sollten konkrete Lücken identifiziert worden sein, sind diese oft durch gezielte Maßnahmen zu schließen. Dies ist im Fall vom Arbeiten mit curricularen Innovationen besonders empfehlenswert. In diesem Zusammenhang ist auch das Überprüfen des Lernerfolgs von Bedeutung, wenn Innovationen im Rahmen des Curriculums eingeführt werden. Dies kann anhand von Tests geschehen (Leithwood, 1981, S. 29). Dieser Aspekt wurde bereits bei LEITHWOOD aufgegriffen und findet sich nach heutigem Verständnis in der Forschung zu curricularen Innovationen wieder.

Ein sehr relevanter Aspekt ist das mit der curricularen Innovation einhergehende Begleitmaterial. Dieser findet sich bei TAUSCH vor allem in den Punkten zwei und vier wieder. LEITHWOOD macht darauf aufmerksam, dass die Innovationen häufig entstehen, indem Lehrende während der laufenden Unterrichtsreihe Interesse an neuen Materialien und Experimenten entwickeln. Deshalb werden die Begleitmaterialien oft aus dem jeweiligen Umfeld der spezifischen Experimente entnommen. Daraus resultiert, dass die Begleitmaterialien häufig nicht exakt didaktisch aufbereitet sind. Sie sind nicht zwangsläufig für genau den geforderten Einsatz im Unterricht geeignet. Aus diesem Grund wird dafür plädiert, dass das Begleitmaterial explizit auf die Innovationen ausgerichtet wird, indem es konkret für die jeweilige Innovation erstellt wird (Leithwood, 1981, S. 29). Worauf jedoch kein direkter Einfluss genommen werden kann ist die Erfahrung, die die

Lernenden mit der curricularen Innovation machen. Diese Erfahrungen sind die Summe aller mitgebrachten Fähigkeiten und vorausgegangenen Erfahrungen sowie der Interaktion von Lernenden in der betreffenden Situation. Diese Gesamterfahrung mit der Lernsituation kann vom Lehrenden nicht hinlänglich beeinflusst werden, wodurch die Einschätzung aller möglichen Erfahrungen mit der curricularen Innovation sehr komplex wird. Das rechtfertigt, laut LEITHWOOD, die Beschreibung der Lehr-Methoden, die in einem Innovationsprofil manifestiert werden müssen (1981, S. 30 f.). Diese können nicht alle möglichen zukünftigen Erfahrungen einkalkulieren. In der 5-Punkte-Konzeption TAUSCHS finden sich für die Lernenden-Erfahrung vermutlich aus diesem Grund keine Parallelen. Ebenso finden sich dort keine Parallelen zu dem Aspekt der Lehrenden-Strategie, den LEITHWOOD thematisiert. Auch dieser ist sehr komplex, denn eine solche Strategie muss wieder und wieder den aktuellen Umständen der Lerngruppe und der Situation angepasst werden. Bei LEITHWOOD wird eine *wenn-dann-Strategie* beispielhaft thematisiert (1981, S. 31). Zuletzt benennt LEITHWOOD die Aspekte Inhalt und Zeit. Im Hinblick auf den Inhalt wird zunächst betont, dass gezeigt werden konnte, dass Lernende in innovativen Curricula erfolgreicher lernen, als in traditionellen (Leithwood, 1981, S. 32). Darüber hinaus konnten vier Kriterien identifiziert werden, die die Auswahl der Innovationen beeinflussen: die Lehrbarkeit, die öffentliche Zugänglichkeit, die Repräsentativität des gesamten Feldes sowie die Reflektion der Untersuchung. Letzteres meint die Überprüfung der Problemlösestrategien, die im betreffenden Feld eingesetzt werden. Diese vier Kriterien sollen durch die ausgewählte Thematik im Rahmen der curricularen Innovation erfüllt werden. Es wird ergänzt, dass es eine belegte positive Beziehung zwischen ausreichend Zeit und dem Lernerfolg gibt. Abschließend wird postuliert, dass die Vorgabe und die Beachtung eines zeitlichen Rahmens mitunter die deutlichsten Wege sind, um nach außen, in Richtung Politik, darzustellen, auf welche Weise Ziele erreicht werden können (Leithwood, 1981, S. 33). Zeit scheint nicht selten der limitierende Faktor für die Behandlung von curricularen Innovationen, ebenso wie von traditionellen Inhalten zu sein.

2.4.3 Experimente im Rahmen der Curricularen Innovationsforschung

Im Rahmen des Chemieunterrichts können curriculare Innovationen als Entwicklung von Modellen, Konzepten, Medien oder Experimenten begriffen werden (Tausch, 2019, S. 43). Experimente als curriculare Innovation charakterisiert BANERJI genauer, indem er vier *low*-Prinzipien formuliert, die für eine gelungene experimentelle Innovation grundlegend sind (2018, S. 57).

Er benennt zunächst den Aspekt der Zeit und betont, dass das Experiment an die vorgegebene Zeit einer Schulstunde, die in der Regel zwischen 45 und 90 Minuten betragen kann, adaptiert werden muss. Das Experiment sollte entweder als Ganzes in dieser Zeit durchführbar oder in Sinnabschnitte unterteilt sein, sodass eine Unterbrechung strukturiert planbar ist (*low-time*). Darüber hinaus benennt BANERJI Aspekte, die auf die in Schulen vorherrschenden Begebenheiten zurückzuführen sind. Daraus entstehen die Prinzipien *low-tech*, *low-cost* und *low-risk*. Das Prinzip *low-tech* thematisiert den Fakt, dass die Inhalte der Experimente größtenteils aus Forschungslaboren stammen und originär von sehr gut ausgebildeten Forschenden durchgeführt werden. Es geht damit das Postulat nach im Lehrkontext realisierbaren Geräten und Techniken einher (Banerji et al., 2018, S. 57). Ferner ist es notwendig zu beachten, dass die Lernenden in den Schulen nicht in dem Maße ausgebildet und überwiegend ungeübt bezüglich expliziter Techniken sind. Das Prinzip *low-risk* deckt die nach RiSU geltende Forderung der Minimierung von Gefährdung in der Schule ab (*Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht*, 2019, S. 19 ff.). Davon ausgehend müssen gefährliche Stoffe ersetzt oder eingesetzte Mengen reduziert werden. Das letzte Prinzip, *low-cost*, trägt dem begrenzten Budget von Schulen Rechnung. Geräte und Materialien, die hochpreisig sind, müssen durch kostengünstige Alternativen substituiert werden. Im Rahmen der didaktischen Prägnanz des Experiments kann die Qualität der Ergebnisse oder der Durchführung minimiert werden (Banerji et al., 2018, S. 57). Begrenzt werden die Optionen der Anpassung von Kosten und Techniken allein dadurch, dass die fachliche Präzision weiterhin gewährleistet sein muss. Im Rahmen der didaktischen Reduktion muss die Sachlichkeit stets vertretbar sein (Barke et al., 2018, S.173).

2.4.4 Phasenmodell der Curricularen Innovationsforschung

Um die curricularen Innovationen nachhaltig und zielgerichtet in das Curriculum zu implementieren und gleichzeitig die Vorgehensweise zu systematisieren, entwickelt BANERJI derzeit ein 5i-Prozessmodell der Curricularen Innovation (2023) (siehe Abbildung 5). Das Modell besteht aktuell aus fünf Phasen.

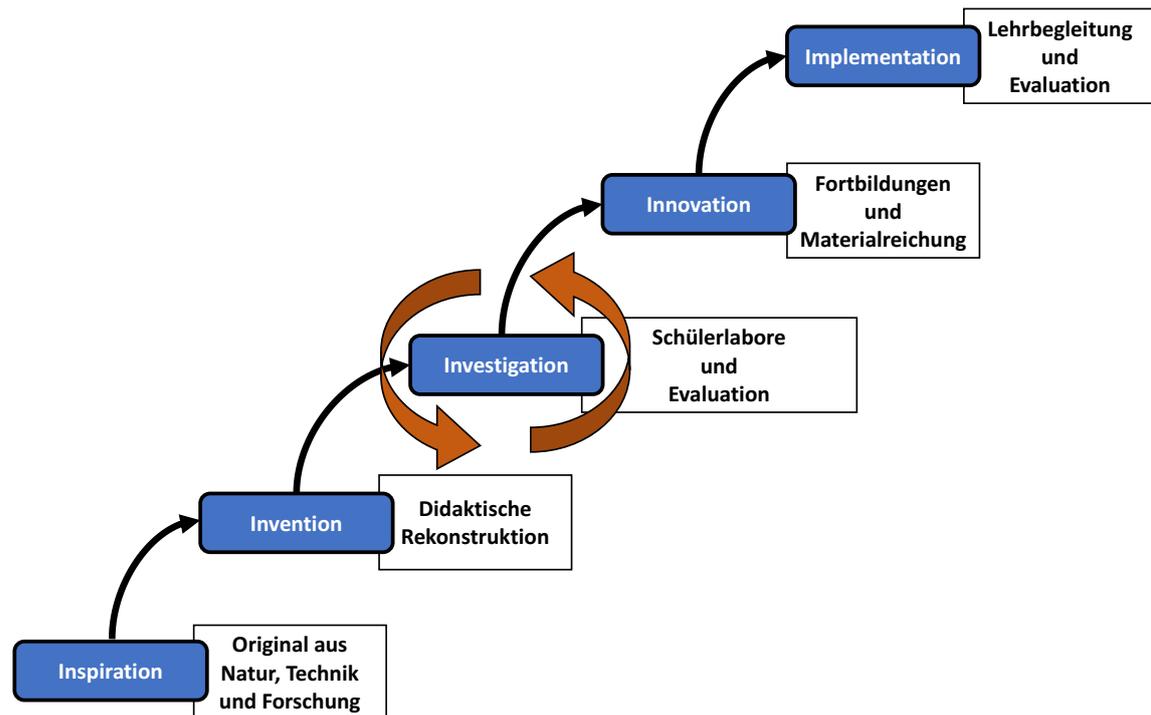


Abbildung 5: Phasenmodell der Curricularen Innovationsforschung (in Anlehnung an: Banerji, 2023).

Die erste Phase beschreibt die Inspiration durch ein Original. Es wird eine aktuelle Thematik aus Technik, Natur, Umwelt oder Leben identifiziert, die die Grundlage für die Entwicklung der curricularen Innovation darstellt (Tausch, 2019, S. 43).

In der zweiten Phase, der Inventionsphase, wird versucht das Original im erforderlichen Rahmen zu reproduzieren, indem die Experimente sowie die theoretischen Konzepte nach didaktischen Kriterien rekonstruiert werden (Reinfried et al., 2009, S. 404 ff.). Dabei ist es wichtig, dass alle Entwicklungsschritte, auch Misserfolge, notiert werden. Das vertiefte Auseinandersetzen mit dem Original steht im Mittelpunkt der Phase. Für die Aufbereitung empfiehlt PARCHMANN ET AL. daher eine enge Zusammenarbeit mit den Fachwissenschaftlern und den Experten der betreffenden Originale (2017, S. 162). Ein ausgewogenes Verhältnis zwischen fachwissenschaftlicher Konsistenz und didaktischer

Reduktion ist unabdingbar (Gust, 2022, S. 17). Handelt es sich bei der curricularen Innovation um ein Experiment, so empfiehlt es sich, sich an den vier low-Prinzipien (siehe Kapitel 2.4.3) zu orientieren. Darüber hinaus werden Materialien und Modelle entwickelt, die eng an der Innovation ausgerichtet sein sollten (Leithwood, 1981, S. 29). Es entsteht der Prototyp der curricularen Innovation, der in der dritten Phase, der Investigation, erprobt wird. Das geschieht zum Beispiel in Schülerlaboren (Gust, 2022, S. 17). Zur Erprobung gehört nicht nur das Durchführen der curricularen Innovation, sondern auch die Evaluation derselben. Dies kann laut BANERJI durch verschiedene Methoden erfolgen, beispielsweise im Sinne des Design-Based-Research-Ansatzes nach REINMANN (2022, S. 10). Durch iteratives Durchführen und Evaluieren wird der Prototyp fortlaufend optimiert, bis dieser für die Lehre einsatzbereit ist. Anschließend wird der Prototyp im vorletzten Schritt, der als Innovation bezeichnet wird, im Rahmen von Lehrerfortbildungen kritisch diskutiert und gegebenenfalls nochmals optimiert. Um die Innovation langfristig in die Lehre implementieren zu können, muss der Zugang für Lehrende zum einen zu den Inhalten der Innovation und zum anderen zu den Materialien sichergestellt werden. Ersteres kann durch Lehrerfortbildungen erfolgen. Das Nadelöhr stellt vielmehr der nachhaltige Zugang zu den Materialien dar. In der Vergangenheit wurden Materialboxen in Form von Lehr-Lern-Koffern als Lösung für dieses Problem etabliert (z.B. OPE-Koffer, Chemiedidaktik der Universität Potsdam; ChEM-TiO₂-Koffer, Photo-Mol-Koffer, beide Bergische Universität Wuppertal; CHEM₂DO®-Wacker-Schulversuchskoffer, Wacker Chemie AG⁵). Diese werden entweder als Leihgabe zur Verfügung gestellt oder zum käuflichen Erwerb angeboten. Das ermöglicht einen niederschweligen Zugang zu der Innovation und bietet die Möglichkeit des unkomplizierten Einsatzes in der Lehre. Im letzten Schritt, der Implementation, wird die Innovation im realen Einsatz langfristig evaluiert. Das geschieht beispielsweise durch die Begleitung der Lehrkräfte im Unterricht und die Erhebung der Einstellungs- sowie der Handlungsakzeptanz (Dörschelln, 2019, S. 47). Um auf das eingangs erwähnte Bild von MICHAEL TAUSCH zu rekurrieren, gelingt es auf diese Weise, neue Partituren für den Chemieunterricht zu komponieren, deren Klang noch lange nachhallt, da die curricularen Innovationen nicht nur theoretisch, sondern auch materiell und somit praktisch Einzug in die Schulen halten.

⁵ <https://boxexperiment.de/ope>
<https://www.chem2do.de/c2d/de/home/index.jsp>
<https://chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/de/unterrichtsmaterialien/solarzellen-mit-titandioxid/>
<https://chemiedidaktik.uni-wuppertal.de/de/unterrichtsmaterialien/experimentierkoffer-photo-mol/>

3 Forschungsdesign

Diese Forschungsarbeit wurde im Rahmen eines Graduiertenkollegs erstellt. Aus diesem Grund werden unterschiedliche Ansprüche an die Arbeit gestellt, aus denen sich final zwei Forschungsschwerpunkte ergeben.

Das Graduiertenkolleg setzt sich aus vier verschiedenen Projektbereichen zusammen (siehe Kapitel 1.1), von denen einer als *Science Education and Outreach* bezeichnet wird. Dieser Projektbereich wird allein durch die vorliegende Forschungsarbeit gestützt und fordert zum einen die Entwicklung und Evaluation innovativer Lehr-Lern-Experimente, die auf der aktuellen Forschung des Graduiertenkollegs basieren (Science Education) und zum anderen die Umsetzung von Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen mit den Doktoranden im Graduiertenkolleg (Outreach).

Für die vorliegende Arbeit werden daher zwei Ziele konstituiert. Das erste Ziel ist die (Weiter-)Entwicklung eines innovativen Lehr-Lern-Experimentes, welches an die Inhalte des Graduiertenkollegs angelehnt und im Rahmen des Phasenmodells der curricularen Innovationsforschung (siehe Kapitel 2.4.4) in eine Lerneinheit überführt wird. Das zweite Ziel ist die Entwicklung und Evaluation von Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen, die mit den Doktoranden umgesetzt werden, um perspektivisch eine Empfehlung für die Strukturierung eines Begleitprogrammes *Wissenschaftskommunikation in naturwissenschaftlichen Forschungsverbänden* zu erarbeiten.

Es wird die Selbstwirksamkeitserwartung der Doktoranden untersucht, um so auf die Wirksamkeit der Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen rückzuschließen.

Die Empfängerseite, die Adressaten der Wissenschaftskommunikation, wird im Rahmen dieser Arbeit nicht betrachtet.

Die Schnittmenge beider Ziele der vorliegenden Arbeit ist die Implementation der Lerneinheit zum Lehr-Lern-Experiment in eine der Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen.

Aufgrund der vielseitigen Anforderungen an die Studie wird diese in zwei große Teilstudien unterteilt. Beide Teilstudien werden nachfolgend als ein Forschungsdesign dargestellt und graphisch zusammengeführt.

Die erste große Teilstudie stellt die Entwicklung der experimentellen ModISC-bezogenen Lerneinheit dar. Diese wird in die zweite große Teilstudie, die die Entwicklung und Evaluation der Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen umfasst, integriert. Darüber

hinaus wird die zweite Teilstudie durch eine grundlegende Vorstudie ergänzt (siehe Abbildung 6).

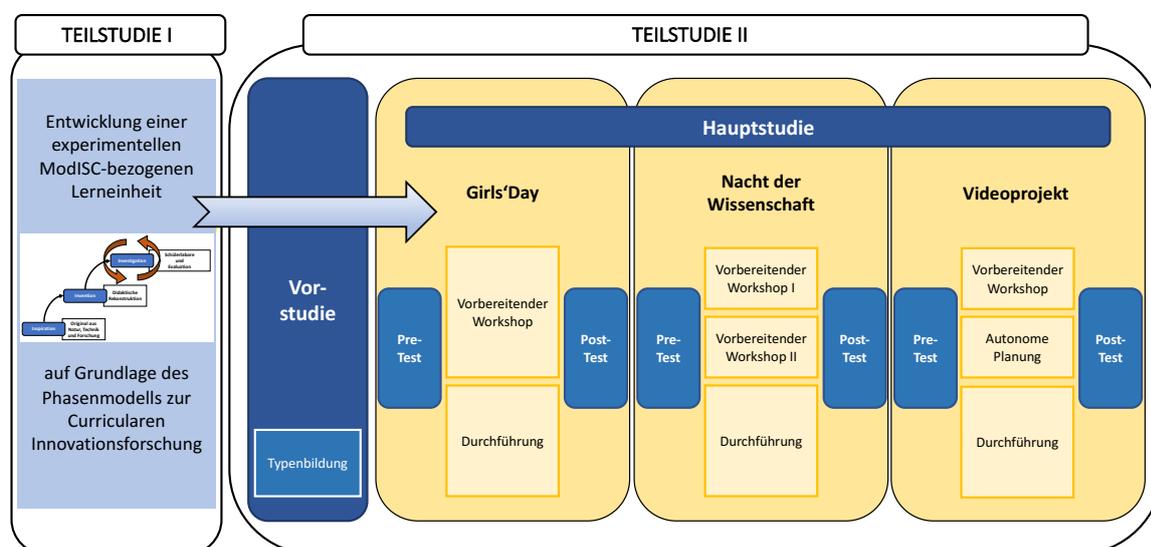


Abbildung 6: Übersicht des Forschungsdesigns. Der in der Teilstudie I dargestellte Ausschnitt des Phasenmodells wurde in Anlehnung an BANERJI (2023) erstellt.

Im Rahmen der curricularen Innovationsforschung (Parchmann et al., 2017) wird das Lehr-Lern-Experiment entwickelt. Anhand des Phasenmodells von BANERJI (2023) wird das Experiment, welches im Rahmen einer vorangegangenen Studie bereits von der Inventionsphase bis zu einem ersten Prototyp ausgearbeitet wurde, aufgegriffen und bis zum Ende der Investigationsphase (siehe Kapitel 5.2.2) entwickelt.

Hintergrund der zweiten Teilstudie ist die Optimierung von Qualifizierungsprogrammen in Forschungsverbänden. Dabei liegt der Fokus im Besonderen auf der Förderung der Doktoranden und deren Softskills im Hinblick auf die Kommunikation der eigenen Forschungsinhalte. Das Grundsatzpapier vom Bundesministerium für Bildung und Forschung mit der Forderung nach Wissenschaftskommunikation ist Anlass für diese Teilstudie. Bisher ist unklar und undefiniert, auf welche Weise das große Thema *Wissenschaftskommunikation* sinnvoll und zielführend in Forschungsverbände integriert werden kann. Die Untersuchung eines universellen Plans zur Wissenschaftskommunikation in einem Graduiertenkolleg stellt ein begründetes Forschungsdesiderat dar.

Um diesem theoriegeleitet nachzugehen und anschließend eine Forschungsfrage zu konkretisieren, wurde eine Vorstudie durchgeführt, die aus der Studie von JULIA GANTENBERG (2018, siehe Kapitel 2.2.4.1) abgeleitet wurde. GANTENBERGS Studie stellt

für die vorliegende Arbeit ein sehr gutes Fundament dar, da der Rahmen beider Arbeiten vergleichbar ist. Sie untersuchte Wissenschaftler in Forschungsverbänden im Hinblick auf das Konzept der Wissenschaftskommunikation. Zudem legt GANTENBERG zwei weitere Studien im Kontext von Forschungsverbänden zugrunde. Dennoch unterscheidet sich ihre Studie in entscheidenden Aspekten von der vorliegenden. Aus diesem Grund können GANTENBERGS Ergebnisse nicht direkt als Grundlage für diese Arbeit dienen. Aus der Vorstudie werden die Anforderungen an die Maßnahmen zur Förderung der Wissenschaftskommunikationskompetenz der Doktoranden abgeleitet sowie die Forschungslücke präzisiert. Darauf basierend wird anschließend die Forschungsfrage formuliert. Darüber hinaus werden innerhalb der Vorstudie Wissenschaftskommunikationstypen konzipiert (Kelle & Kluge, 2010, S. 91 ff.), die für die Auswertung der Hauptstudie relevant sind.

In der Hauptstudie der zweiten Teilstudie werden Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen entwickelt, durchgeführt und anschließend evaluiert. Der Fokus der Entwicklung der Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen wurde auf ein möglichst breites Angebot gelegt. Dabei wurden sowohl synchrone, als auch asynchrone Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen entwickelt. Außerdem unterscheiden sich die Maßnahmen in der Interaktion der Doktoranden mit den Rezipienten sowie im Grad der Involviertheit der Doktoranden in die Konzeption.

Konkret wurden die Teilnahme am *Girls' Day* an der Heinrich-Heine-Universität, sowie die Teilnahme an der *Nacht der Wissenschaft* und die an einem Videoprojekt angeboten. Im Rahmen des *Girls' Days* wurde die Lerneinheit aus der ersten Teilstudie implementiert. Die Hauptstudie der zweiten Teilstudie basiert auf dem explorativen Forschungsansatz, in dem es darum geht, Forschungslücken zu konkretisieren (Mayring, 2020, S. 9 ff.). Die akteurszentrierte Evaluation der Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen erfolgt im Rahmen eines Fragebogens im Pre-Post-Designs, welches häufig in der Verhaltensforschung angewendet wird (Dimitrov & Rumrill, 2003, S. 159). Final werden die Einzelfälle den in der Vorstudie konzipierten Typen zugeordnet, um Rückschlüsse auf die Eignung der einzelnen Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen zur Förderung der verschiedenen Typen zu ziehen.

4 Fachwissenschaftliche Grundlagen

Nachfolgend werden die Grundlagen photophysikalischer Prozesse erläutert, die zum Verständnis des Funktionsprinzips des entwickelten Lehr-Lern-Experiments⁶ dienen.

Sie bilden darüber hinaus das Fundament für die im Kapitel 5.2.1.1 entwickelten Modelle und Materialien der Lerneinheit.

Im Rahmen der Masterarbeit der Autorin, in welcher der Prototyp des hands-on Experiments entwickelt wurde, wurde das nachfolgende Kapitel bereits in ähnlicher Form veröffentlicht (Halbrügge, 2019).

Für die vorliegende Dissertationsschrift wurden die Unterkapitel an das Narrativ adaptiert und erweitert.

4.1 Das Bändermodell

Atome und Moleküle können auf unterschiedliche Weise Energie absorbieren. Diese Energie kann anschließend in Form der Emission von elektromagnetischer Strahlung wieder freierwerden.

Liegt die freiwerdende Strahlung im Bereich des sichtbaren Lichtes, wird dies als Lumineszenz bezeichnet. Neben lumineszenten Prozessen können auch solche unter Abgabe von Wärmestrahlung oder UV-Strahlung erfolgen.

Lumineszente Prozesse können sowohl in organischen, als auch in anorganischen Materialien erfolgen. Materialien, die lumineszieren, werden als Leuchtstoff oder Luminophor bezeichnet (Nelkowski, 1981, S. 755).

Lumineszenzeigenschaften in anorganischen Materialien können anhand des Bändermodells näher erläutert werden.

Dem Bändermodell liegt die Molekülorbitaltheorie zugrunde. Diese beschreibt, auf welche Weise Atombindungen entstehen können.

In einer chemischen Bindung wechselwirken die Atomorbitale miteinander. Dadurch entsteht exakt die gleiche Anzahl an Molekülorbitalen, wie Atomorbitale in

⁶ Nachfolgend wird synonym der Begriff hands-on Experiment verwendet.

Wechselwirkung stehen. Es entstehen also mehr Molekülorbitale, je mehr Atomorbitale an einer Bindung beteiligt sind (Forst et al., 1993, S. 61).

Bei der Bindung eines Li_2 -Moleküls hat sich das $2s$ -Atomorbital des einen Lithiumatoms mit dem $2s$ -Atomorbital des anderen Lithiumatoms verbunden, sodass zwei Molekülorbitale entstanden sind (siehe Abbildung 7). In jedem $2s$ -Atomorbital befand sich zuvor ein Elektron. Im Li_2 -Molekül ist eines der beiden Molekülorbitale durch zwei Elektronen mit entgegengesetztem Spin vollständig besetzt, das bindende σ_{2s} -Molekülorbital, während das andere, das antibindende σ_{2s}^* -Molekülorbital, unbesetzt bleibt (Binnewies et al., 2016, S. 142; Wiberg et al., 2017, S. 1670). Analog zur Bildung der Molekülorbitale im Li_2 -Molekül entstehen aus der Wechselwirkung der s -Atomorbitale von n verbundenen Lithiumatomen wiederum n Molekülorbitale. Diese sind delokalisiert. Je mehr Lithiumatome miteinander verknüpft werden, desto mehr Molekülorbitale entstehen und desto kleiner wird der Abstand zwischen diesen Orbitalen. Metallisches Lithium wird durch ein Energieband beschrieben, welches aus n Orbitalen besteht, die nahezu lückenlos aneinandergereiht sind (Wiberg et al., 2017, S. 1670).

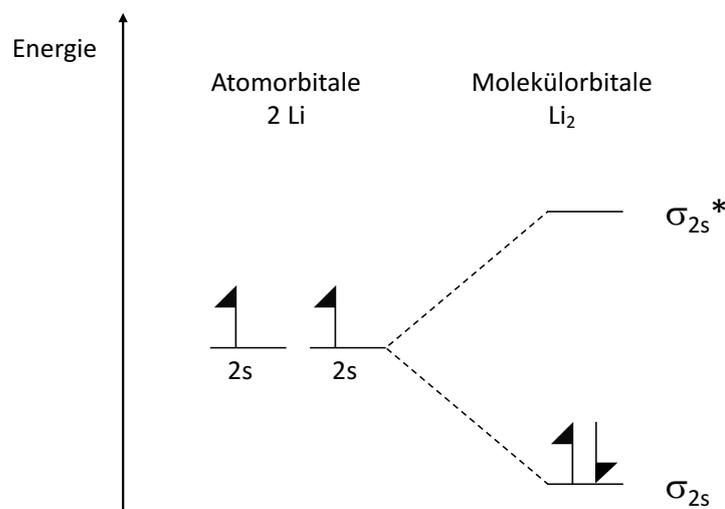


Abbildung 7: Ausbildung der Molekülorbitale zweier Atomorbitale des Lithiums (in Anlehnung an: Binnewies et al., 2016, S. 142).

Ein Kristall in Form eines Atomgitters, wie beispielsweise Diamant, kann als Verbund einer sehr großen Anzahl n Atomen verstanden werden. Jedes Atom des Kristalls befindet sich im Grundzustand in einem exakten Energiezustand. Das bedeutet, dass die Energieniveaus der Atome diskret sind (Scherz, 2005, S. 46). Durch die sehr hohe Anzahl an Atomen, deren Atomorbitale miteinander verbunden sind, entsteht eine ebenso große

Anzahl an Molekülorbitalen im Kristall. Die Molekülorbitale können als Energieniveaus des Kristalls bezeichnet werden. Je größer die Anzahl der Atome, desto kleiner wird der Abstand zwischen den einzelnen Niveaus, bis sich die gesamte Menge der Orbitalenergien, analog zu denen im großen Lithiumverbund, einem Kontinuum nähert (Binnewies et al., 2016, S. 142). Dieses Kontinuum wird als (Energie-)Band bezeichnet (siehe Abbildung 8) (Forst et al., 1993, S. 61; Schmidt, 2019, S. 111).

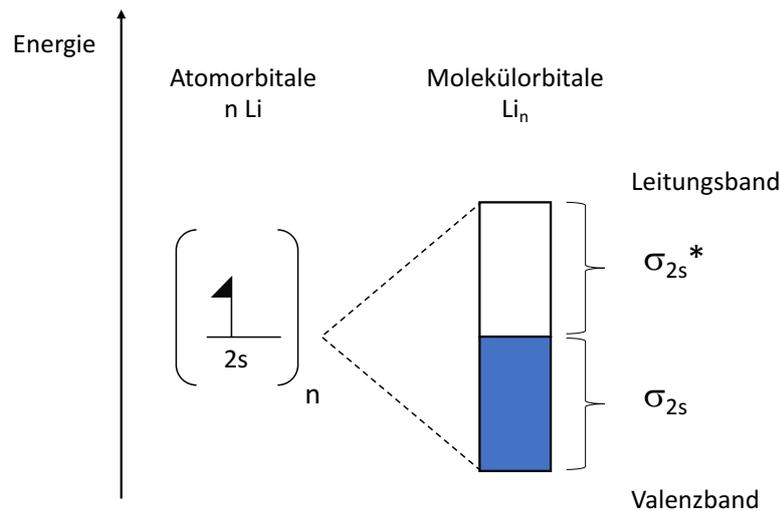


Abbildung 8: Ausbildung von n Molekülorbitalen aus n Atomorbitalen des Lithiums: Entstehung der Energiebänder (in Anlehnung an: Binnewies et al., 2016, S. 142).

Nähern sich die Atome im Gitter aufgrund der elektrostatischen Wechselwirkung immer stärker an und unterschreiten einen bestimmten Mindestabstand, superponieren die Orbitale und es kommt zur Aufspaltung des Energiebandes in zwei Energiebänder (Weber, 2014, S. 178). Ähnlich der beiden Molekülorbitale im Li_2 -Molekül befinden sich im auf diese Weise entstandenen unteren Band, den zusammengefassten σ_{2s} -Molekülorbitalen, alle vorhandenen Valenzelektronen. Aus diesem Grund wird das untere Band als Valenzband bezeichnet. Das obere Band wird als Leitungsband bezeichnet und stellt analog zum σ_{2s}^* -Molekülorbital im Li_2 -Molekül die unbesetzten Orbitale dar (Forst et al., 1993, S. 61). Die Atome im Kristall sind gitterartig und sehr nah beieinander angeordnet. Die Umgebung jedes Atomkerns kann als Potentialtopf verstanden werden. Damit ist das elektrische Potential gemeint, welches den Atomkern aufgrund seiner positiven Ladung umgibt. Durch die große Nähe der einzelnen Atome zueinander überlappen deren Potentialtöpfe und die äußeren Elektronenhüllen wechselwirken. Auf diese Weise befinden sich im Valenzband eines Kristalls diejenigen Elektronen, die den größtmöglichen Abstand zum Atomkern

haben, gleichzeitig aber noch einem Atom zugeordnet werden können. Die Elektronen, die aufgrund der Wechselwirkung zwischen den Atomen nicht mehr eindeutig einem einzelnen Atom zuzuordnen sind, befinden sich im über dem Valenzband angeordneten Leitungsband. Wird den Elektronen im Leitungsband Energie zugeführt, beispielsweise durch Wärme, so kann es zum Austritt aus dem molekulartig zusammenhängenden Atomverbund kommen. Im Grundzustand können sich die Elektronen jedoch nur im jeweiligen Band frei bewegen (Rost & Wefel, 2013, S. 103).

4.1.1 Leiter, Halbleiter, Isolatoren

Die Energiedifferenz zwischen dem Valenz- und dem Leitungsband kann je nach Atomverbund variieren. Das bedeutet, dass die Lücke zwischen den beiden Bändern größer, kleiner oder gar nicht vorhanden sein kann. Diese wird als Bandlücke bezeichnet. Je nach Größe der Bandlücke können Festkörper nach ihren Energiezuständen kategorisiert werden.

In Metallen gibt es die Bandlücke nicht, da Valenz- und Leitungsband überlappen. Aus diesem Grund können Elektronen aus dem Valenz- in das Leitungsband übergehen und sich auch dort aufhalten (Schmidt, 2019, S. 112). Durchschnittlich halten sich verhältnismäßig viele Elektronen im Leitungsband auf. Das führt dazu, dass Leiter ihre charakteristische, leitende Eigenschaft erhalten. Ohne Weiteres kann Strom durch einen Leiter fließen. Die sich überlappenden Bänder verdeutlichen zudem, dass die ungebundenen Elektronen die positiv geladenen Atomkerne umgeben. Durch die große Beweglichkeit der Elektronen entsteht ein Elektronengas, das ebenfalls charakteristisch für Metalle ist (Rost & Wefel, 2013, S. 104). Bei Nichtmetallen ist die Bandlücke groß. Das resultiert aus den dort vorliegenden kovalenten Bindungen und deren niedriger Koordinationszahl. Sie werden als Isolatoren bezeichnet. Die niedrige Koordinationszahl bedingt eine kleine Anzahl Atomorbitale, aus der nur eine kleine Anzahl Molekülorbitale entstehen können. Aus diesen entstehen die Energiebänder. Diese sind aus den genannten Gründen deutlich schmaler als in Leitern und auf diese Weise vergrößert sich der Abstand zwischen dem Valenz- und dem Leitungsband (Schmidt, 2019, S. 112). Es können keine Elektronen vom Valenz- in das Leitungsband angeregt werden, da die benötigte Energie zur Dissoziation des Moleküls führen würde. Ein Stromfluss ist somit ausgeschlossen (Rost

& Wefel, 2013, S. 105). Neben den Leitern und den Isolatoren gibt es Elemente und Verbindungen, die als Halbleiter bezeichnet werden (Oppen et al., 2015, S. 378).

So wie in Einzelatomen sind bei Halbleitern energetische Zustände nach dem Pauli-Prinzip bis zu einem bestimmten Limit besetzt. Das Valenzband ist das oberste mit Elektronen gefüllte Band und bei einer Temperatur von 0 K ist es gänzlich mit Elektronen besetzt. Zugleich wird es deutlich vom über ihm liegenden, gänzlich unbesetzten Leitungsband getrennt (siehe Abbildung 9a). Durch Energiezufuhr wird ein Elektron vom Valenz- in das Leitungsband angeregt (siehe Abbildung 9b). Dadurch entsteht im Valenzband eine Lücke, die sogenannte Elektronenfehlstelle (siehe Abbildung 9c). Eines der benachbarten Elektronen kann den Platz des angeregten Elektrons einnehmen. Dessen Platz nimmt wieder ein benachbartes Elektron ein. Auf diese Weise ist die Elektronenfehlstelle, für die formal das sogenannte „Loch“ als Quasiteilchen eingeführt wird, beweglich. Dadurch, dass das Leitungsband zuvor unbesetzt war, ist das Elektron im Leitungsband sehr beweglich (Hillmer & Salbeck, 2005, S. 724 f.).

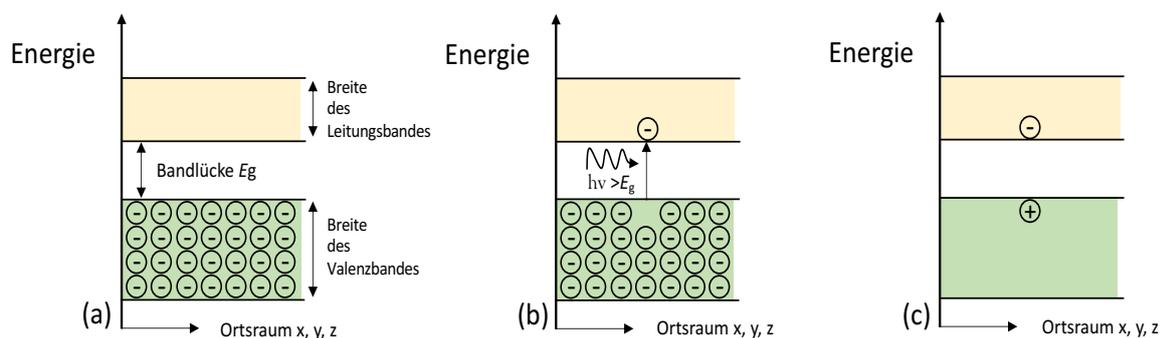


Abbildung 9: Bandstruktur im Ortsraum, Einführung der Elektronenfehlstelle (in Anlehnung an: Hillmer & Salbeck, 2005, S. 725).

Da die Bandlücke eines Halbleiters jedoch wesentlich kleiner ist als bei den Isolatoren, können bereits bei steigender Temperatur Elektronen vom Valenz- in das Leitungsband angeregt werden. Dazu werden Valenzelektronen aus der Bindung herausgelöst und die Bindung gebrochen. Die Elektronen gehen über in das Leitungsband. Je wärmer das Material wird, desto mehr Bindungen werden gebrochen und desto mehr Elektronen gelangen in das Leitungsband. Dadurch steigt die Anzahl der freien Ladungsträger und somit die Leitfähigkeit. Der Halbleiter verhält sich jetzt wie ein schlechter Leiter und ist in der Lage, elektrischen Strom zu leiten (Hillmer & Salbeck, 2005, S. 725 f.;

Rost & Wefel, 2013, S. 105). Die maximale Kapazität, Strom zu leiten, ist jedoch wesentlich geringer als die eines Leiters (Schmidt, 2019, S. 112 f.).

Halbleiter werden genauer durch die Größe ihrer Bandlücke charakterisiert. Die Energiedifferenz, die dieser inhärent ist, wird durch die Einheit Elektronenvolt (eV) beschrieben. Der Wert in Elektronenvolt bezeichnet die Menge an kinetischer Energie, die ein Elektron zunimmt, wenn 1 V Beschleunigungsspannung durch dieses hindurchfließt. Sobald ein Elektron vom Leitungsband zurück in das Valenzband kehrt, wird die Energie zum Beispiel in Form von Licht frei. Entscheidend dafür, ob Licht aus dem kurz- oder langwelligen Bereich des Spektrums - also nicht sichtbares oder sichtbares Licht - emittiert wird, ist die Größe der Bandlücke. Halbleiter mit einer Bandlücke von 3,1 eV oder größer, emittieren Licht im nicht sichtbaren Wellenlängenbereich. Halbleiter mit einer kleineren Bandlücke, zwischen circa 3,0 und 1,5 eV, emittieren Licht im sichtbaren Bereich (Höltgen, 2020, S. 322; Schmidt, 2019, S. 113).

4.1.2 Dotierung

Die Bandlücke ist veränderbar. Indem Fremdatome eingebaut werden, verändern sich die Energiebänder und so die Energiedifferenz. Dieser Vorgang wird als Dotierung bezeichnet. Auf diese Weise können die elektrischen Eigenschaften von Halbleitern so modifiziert werden, dass sie sich an nahezu alle Anforderungen adaptieren lassen.

Durch Dotierung wird insbesondere die Lage der Bänder beeinflusst. Durch das energetische Absenken des Leitungsbandes oder das energetische Anheben des Valenzbandes wird die Bandlücke kleiner (Schmidt, 2019, S. 114). Dadurch werden Energieniveaus verfügbar, die sich im undotierten Zustand des Atomverbundes innerhalb der Bandlücke befinden (Binnewies et al., 2016, S. 143). Die Dotierung kann auf verschiedene Weisen erfolgen. Sie kann mit einem Element durchgeführt werden, dessen Atome ein Valenzelektron mehr haben als die Atome im Kristall. Ein sehr gutes, alltagsnahes Beispiel ist die Dotierung von Silizium (Si). Im reinen Siliziumkristall ist jedes Atom mit vier benachbarten Atomen verbunden. Durch die Dotierung mit einem Element der fünften Hauptgruppe, werden einige Siliziumatome durch die Atome des neuen Elementes ersetzt. Das eingebrachte Atom, im Fall der Siliziumdotierung häufig Arsenatome (As), bildet die vier Bindungen mit den umliegenden Siliziumatomen aus (Binnewies et al., 2016, S. 143 f.). Die Struktur des Kristalls verändert sich dabei nicht, da die Konzentration des Dotierelements gering ist (Schmidt, 2019, S. 114). Durch das

Zuführen einer spezifischen Aktivierungsenergie löst sich das fünfte Elektron, das nur noch schwach an das Arsenatom gebunden ist (siehe Abbildung 10a). Es wird in das Leitungsband angehoben und ist über das gesamte Gitter delokalisiert. Im Arsenatom bleibt die Elektronenfehlstelle als lokalisierte positive Ladung zurück (Binnewies et al., 2016, S. 143; Hillmer & Salbeck, 2005, S. 726).

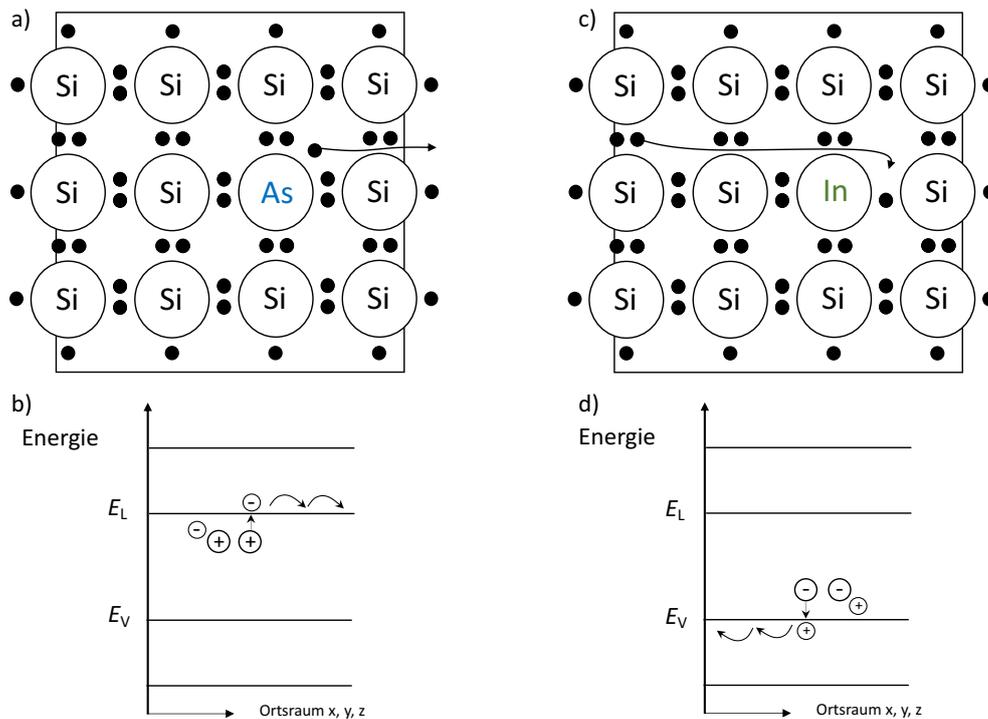


Abbildung 10: Schematische Darstellung der n-dotierten (a) und der p-dotierten (c) Gitterstruktur sowie des je korrespondierenden Bänderschemas der n-Dotierung (b) und der p-Dotierung (d) (in Anlehnung an Hillmer & Salbeck, 2005, S. 726, modifiziert nach Binnewies et al., 2016, S. 144).

Halbleiter, die durch Fremdatome mit einem Elektron mehr als die Verbundatome dotiert wurden, werden als n-Halbleiter bezeichnet (Binnewies et al., 2016, S. 143 f.).

Das Fremdatom, in diesem Fall das Arsen, wird als Donator bezeichnet, da es ein überschüssiges Elektron liefert. Durch das Generieren des Defektelektrons wird die Bandlücke um die für die Trennung des Elektrons vom Fremdatom benötigte Aktivierungsenergie verkleinert. Das sogenannte Donatorniveau liegt in kleinem Abstand kurz unter der Unterkante des Leitungsbandes (siehe Abbildung 10b).

Ferner kann eine Dotierung erfolgen, indem ein delokalisiertes Elektronenloch erzeugt wird. Auf diese Weise entsteht ein p-Halbleiter. Am Beispiel von Silizium eignet sich ein Element aus der 3. Hauptgruppe, wie Indium (In). Dieses besitzt ein Valenzelektron weniger als Silizium. Nach Einbringen in das Silizium-Gitter, bildet das Indiumatom

Bindungen zu den benachbarten Siliziumatomen aus. Es kann aufgrund des fehlenden Valenzelektrons nur drei Bindungen ausbilden, es entsteht ein Elektronenloch (siehe Abbildung 10c). Das Elektronenloch ist ebenfalls über das ganze Gitter delokalisiert, während sich am Indiumatom eine lokalisierte negative Ladung ausbildet (Binnewies et al., 2016, S. 144).

Das Fremdatom bei der p-Dotierung wird als Akzeptor bezeichnet und die notwendige Aktivierungsenergie auch als Akzeptor-Bindungsenergie. Diese ist so gering, dass sich das Akzeptorniveau im Energieschema kurz oberhalb der Oberkante des Valenzbandes anordnet (siehe Abbildung 10d) (Hillmer & Salbeck, 2005, S. 726; Rost & Wefel, 2013, S. 108 f.).

Sowohl die n- als auch die p-Dotierung haben das Ziel, Störstellen auszubilden, die die Energiedifferenz zwischen Valenz- und Leitungsband verringern, indem neue Energieniveaus ausgebildet werden und so der Übergang zwischen Valenz- und Leitungsband verkürzt wird. Nach der p-Dotierung müssen Elektronen nicht bis ins Leitungsband angeregt werden, da die Anregung in das geschaffene Akzeptorniveau genügt. Nach n-Dotierung werden die Elektronen nicht aus dem Valenzband in das Leitungsband angeregt, sondern aus dem neuen Donatorniveau. Zudem leitet ein dotierter Halbleiter bei Temperatursteigerung den Strom noch besser, da durch die hinzugekommenen Elektronen oder Löcher zusätzliche Ladungsträger für den Ladungstransport verfügbar sind (Oppen et al., 2015, S. 396).

4.1.3 Elektronenübergänge im Bändermodell

Durch die verschiedenen Dotierungen können neue Energieniveaus zwischen dem Valenz- und dem Leitungsband geschaffen werden. In Abbildung 11 wird eine Auswahl der möglichen Elektronenübergänge dargestellt und nachfolgend beschrieben.

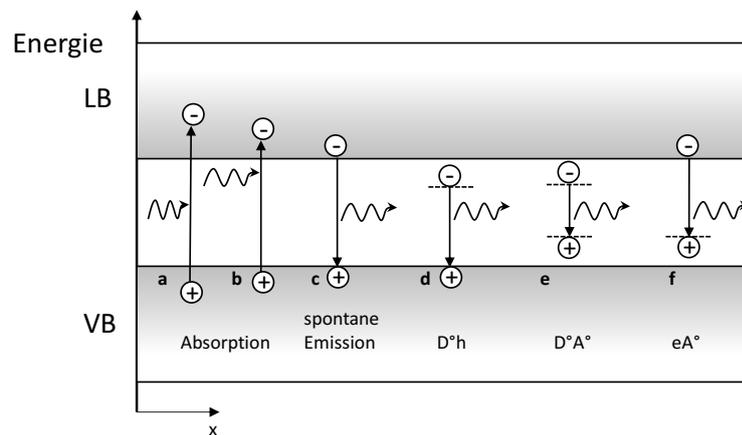


Abbildung 11: Übersicht verschiedener elektronischer Übergänge im Bändermodell (in Anlehnung an: Hillmer & Salbeck, 2005, S. 727).

Im dotierten Halbleiter können die Elektronen auf verschiedenen Wegen zwischen den Bändern übergehen.

Die Anregung des Elektrons erfolgt als Band-Band-Übergang durch Absorption eines Photons, dabei entsteht ein Elektron-Loch-Paar (siehe Abbildung 11b). Neben dieser Anregung kann auch eine Anregung mit höherer Energie erfolgen (siehe Abbildung 11a). Anschließend können je nach Dotierung und vorheriger Anregungsenergie unterschiedliche Prozesse erfolgen. Zum einen kann das Elektron spontan durch einen Band-Band-Übergang relaxieren, es kommt zur Rekombination des Elektronen-Loch-Paares unter Abgabe von elektromagnetischer Strahlung (siehe Abbildung 11c). Ferner kann ein Elektron aus einem Donatorniveau mit einem freien Loch rekombinieren (siehe Abbildung 11d). Auch die Rekombination eines Elektrons aus dem Donatorniveau mit einem Loch im Akzeptorniveau kann erfolgen (siehe Abbildung 11e). Darüber hinaus ist die Rekombination eines Elektrons aus dem Leitungsband mit einem an ein durch p-Dotierung entstandenes Akzeptorniveau gebundenes Loch möglich (siehe Abbildung 11f). Neben den genannten Rekombinationsmöglichkeiten gibt es weitere, auf die im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht weiter eingegangen wird, da sie für andere Anwendungen von Halbleitern relevant sind (Hillmer & Salbeck, 2005, S. 727).

4.2 Photo- und Elektrolumineszenz

Bevor Energie freigesetzt werden kann, muss diese dem Molekül zunächst zugeführt werden. Es gibt verschiedene Wege, auf denen dies erfolgen kann. Für die vorliegende Arbeit sind zwei Anregungsprozesse relevant: die Photo- und die Elektrolumineszenz.

4.2.1 Photolumineszenz

Unter Photolumineszenz werden Prozesse zusammengefasst, die die Lichtemission nach Anregung mit elektromagnetischer Strahlung bezeichnen. Die Anregung kann sowohl durch sichtbare als auch durch nicht sichtbare Strahlung erfolgen.

Für die unten beschriebenen Emissionsprozesse der Fluoreszenz und der Phosphoreszenz (siehe Kapitel 4.2.1.2) ist oft energiereiches Licht erforderlich. Es wird Licht sehr kurzer Wellenlängen im Bereich zwischen dem blauen und dem ultravioletten Licht (470 - 200 nm) genutzt. Das individuelle Absorptionsspektrum eines Moleküls zeigt, welche Wellenlänge für die Anregung notwendig ist. Bei Anwendung von zu energiereichem Licht kann es zur Photodissoziation kommen.

4.2.1.1 Das Jablonski-Diagramm

Die Prozesse, die im Rahmen des Graduiertenkollegs ModISC relevant sind, können durch das Jablonski-Diagramm beschrieben werden.

Das Jablonski-Diagramm fasst die möglichen Übergangs- und Relaxationsprozesse der Valenzelektronen eines Moleküls, die nach der Absorption von Lichtenergie erfolgen können, zusammen und veranschaulicht diese (siehe Abbildung 12).

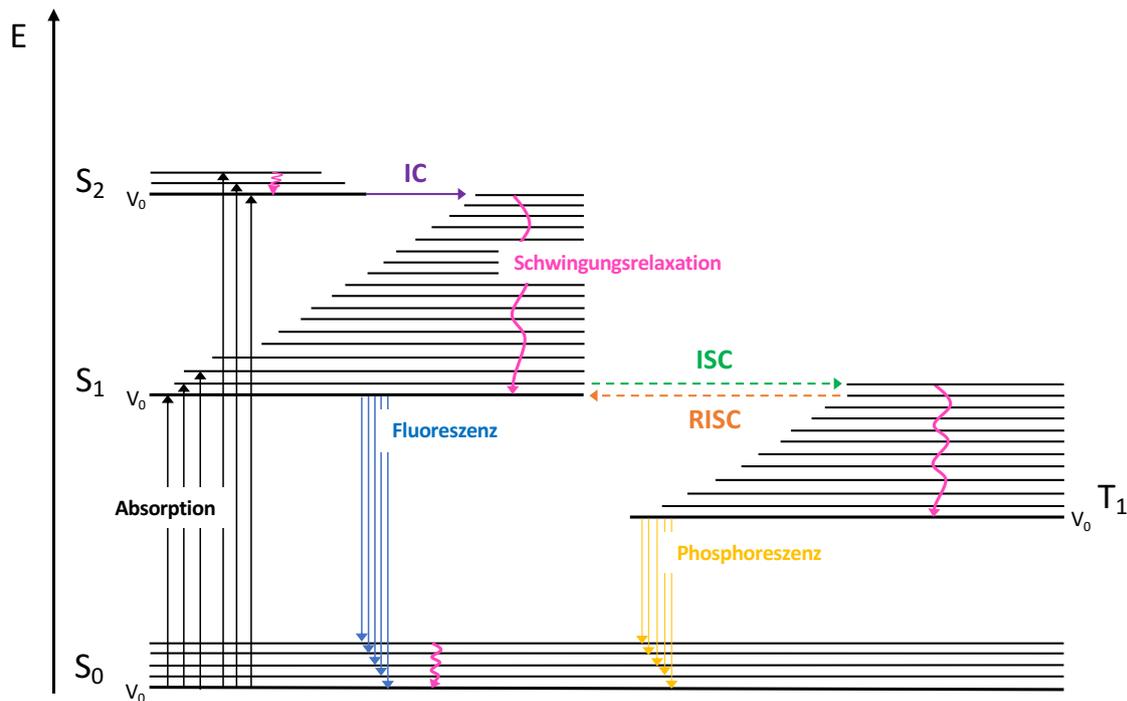


Abbildung 12: Jablonski-Diagramm (in Anlehnung an: Kurzweil et al., 2008, S. 335).

Wird ein Molekül durch Lichtabsorption optisch angeregt, findet die Anregung nach dem Franck-Condon-Prinzip in einen höheren Schwingungszustand eines elektronisch angeregten Singulett-Zustandes statt. Dabei ist die Überlappung der Wellenfunktionen des Grund- und angeregten Zustandes entscheidend (Stohrer, 1998, S. 42 ff.).

Die optische Anregung erfolgt auf einer Zeitskala von 10^{-15} Sekunden.

Im Jablonski-Diagramm wird dargestellt, welche möglichen Übergänge es für die angeregten Zustände gibt, um wieder in den Grundzustand S_0 , im Bändermodell als Valenzband (siehe Kapitel 4.1) dargestellt, zu gelangen.

Am Relaxationsprozess können angeregte Singulett- und Triplettzustände beteiligt sein. Diese unterscheiden sich in ihrer Spinnultiplizität. Die Spins der Elektronen sind im Singulett-Zustand antiparallel und im Triplett-Zustand parallel ausgerichtet.

Sowohl im Singulett- als auch im Triplett-Zustand existieren innerhalb eines Molekülsystems Rotations- und Schwingungszustände. Ebenso wie die Energie der Photonen sind auch diese verschiedenen Zustände gequantelt. Das bedeutet, dass die Energie, die in den Schwingungs- und Rotationszuständen aufgenommen und wieder abgegeben wird, nur diskrete Werte annehmen kann.

4.2.1.2 Strahlungslose und strahlende Übergänge

Das Freiwerden von Energie durch den Übergang von Elektronen von einem energetisch höheren auf einen energetisch niedrigeren Zustand kann sowohl mit als auch ohne Lichtemission erfolgen. Das ist davon abhängig, welcher Zustandsübergang stattfindet.

Bei der sogenannten Internal Conversion (deutsch: innere Umwandlung) findet ein strahlungsloser Übergang zwischen zwei verschiedenen elektronischen Zuständen der gleichen Spinmultiplizität eines Moleküls statt. Dieser Übergang wird zum Beispiel durch die Schwingungen eines Moleküls und die daraus resultierenden Stöße begünstigt. Das Elektron geht aus dem Schwingungsgrundzustand v_0 eines elektronisch angeregten Zustandes in den hoch angeregten Schwingungszustand des nächst tiefer gelegenen elektronischen Zustand über (siehe Abbildung 12, von S_2 nach S_1). Dabei handelt es sich um einen isoenergetischen Zustandswechsel (Stohrer, 1998, S. 66). Sofort kehrt das Elektron innerhalb von 10^{-12} Sekunden durch Schwingungsrelaxation aus dem angeregten Schwingungszustand in den Schwingungsgrundzustand zurück.

Ein weiterer strahlungsloser Übergang ist das Intersystem Crossing (Interkombination), kurz ISC. Dieser Übergang ist wie die interne Umwandlung isoenergetisch, jedoch mit einer Spinumkehr verbunden und aus einem elektronisch angeregten Singulett-Zustand wird ein angeregter Triplett-Zustand (siehe Abbildung 12, von S_1 nach T_1). Auch hier wird in der Regel ein angeregter Schwingungszustand besetzt, der relaxiert bis der vibronische Grundzustand erreicht ist.

Durch eine große Spin-Bahn-Kopplung steigt die Wahrscheinlichkeit für das Intersystem Crossing (Stohrer, 1998, S. 66). Ebenso wird das Auftreten vom ISC durch schwere Atome im Molekül begünstigt.

Findet die Relaxation aus einem elektronisch angeregten Singulett-Zustand in den elektronischen Grundzustand unter Emission von sichtbarem Licht statt, so wird dieser Prozess als Fluoreszenz bezeichnet. Da keine Spinumkehr erfolgen muss, liegt zwischen der Anregung und der Fluoreszenz nur sehr wenig Zeit.

Durch sofortige Schwingungsrelaxation befindet sich der S_0 -Zustand nach 10^{-12} Sekunden wieder im Schwingungsgrundzustand. Durch die schnelle Schwingungsrelaxation wird auch bei der Fluoreszenz Energie in Form von Wärme frei.

Dadurch, dass die Kernanordnung jeweils während des Absorptions- und des Emissionsprozesses erhalten bleibt, ist die Wellenlänge der absorbierten Strahlung in der Regel kürzer als die Wellenlänge der Fluoreszenzstrahlung. Es wird energieärmeres, langwelligeres Licht emittiert. Diese bathochrome Verschiebung wird als Stokes-Shift bezeichnet und ist charakteristisch für die Fluoreszenz.

Die spontane Lichtemission findet nach Kashas Regel stets aus dem niedrigsten elektronischen angeregten Singulett-Zustand statt.

Die Lebensdauer der Lichtemission bei Fluoreszenz liegt typischerweise im Nanosekundenbereich (Stohrer, 1998, S. 65 ff.).

Nach dem Intersystem Crossing und der Schwingungsrelaxation befindet sich das Molekül im Schwingungsgrundzustand v_0 eines angeregten Triplett-Zustandes (beispielsweise T_1). Von hier aus kann es strahlend in den S_0 -Zustand übergehen (siehe Abbildung 12). Dieser Prozess wird als Phosphoreszenz bezeichnet. Die Lebensdauer der Phosphoreszenz ist deutlich größer als die der Fluoreszenz, da sie mit einer Spinumkehr und damit mit einem spinverbotenen Prozess verbunden ist (Stohrer, 1998, S. 67). Die Lebensdauer kann von einigen μs bis zu mehreren Tagen andauern. Eine bathochrome Verschiebung wie bei der Fluoreszenz findet auch bei der Phosphoreszenz statt. Sie reicht noch weiter in den langwelligeren, energiearmen Bereich des Spektrums hinein (Bechmann & Schmidt, 2000, S. 53), da angeregte Triplett-Zustände in der Regel energieärmer sind als angeregte Singulett-Zustände.

4.2.2 Elektrolumineszenz

Für das in der vorliegenden Arbeit thematisierte Lehr-Lern-Experiment sind die Prozesse der Elektrolumineszenz relevant.

Bei der Elektrolumineszenz werden die Elektronen nicht wie bei der Photolumineszenz durch elektromagnetische Strahlung, sondern durch das Anlegen eines elektrischen Feldes angeregt (Saleh & Teich, 2008, S. 623). Die Elektrolumineszenz wird nach ihrem Erfinder,

der den Effekt bei seinen Untersuchungen zur Szintillation von Zinksulfid⁷ entdeckte, auch als Destriau-Effekt bezeichnet (Matossi, 1957, S. 8).

Die Anregung des Moleküls durch ein elektrisches Feld kann auf unterschiedlichen Wegen erfolgen, von denen zwei heute Relevanz in Industrie und Technik haben: die Wechselfeld-Anregung und die Gleichspannungs-Anregung. Im letztgenannten Fall besteht die Diode aus einem n- und einem p-Halbleiter. Durch ein schwaches elektrisches Feld werden Elektronen und Löcher in die beiden Halbleiter-Regionen injiziert. Im Grenzbereich beider Halbleiter-Regionen rekombinieren die Ladungsträger unter Lichtemission, deren Emissionsspektrum durch die Bandlücke bestimmt wird (Mauch, 1996, S. 589). Ferner kann bei der Gleichspannungs-Anregung zwischen organischer und anorganischer Lumineszenz unterschieden werden (Mauch, 1996, S. 590 ff.). Da für die vorliegende Arbeit die Gleichspannungs-Anregung nicht von Bedeutung ist, wird hierauf nicht weiter eingegangen.

Elektronen werden bei Anregung durch ein Wechselfeld beschleunigt. Durch die Beschleunigung erreichen sie die Störstellen im Material, die durch Dotierung induziert wurden (siehe Kapitel 4.1.2). Die Elektronen gelangen dadurch in einen angeregten Zustand und bilden ein Elektron-Loch-Paar aus. Durch Rekombination kehren sie aus dem angeregten Zustand unter Lichtemission in den Grundzustand zurück. Die Wellenlänge des emittierten Lichtes wird durch die Art der Dotierelemente bestimmt (Mauch, 1996, S. 589). Ob es zur Lichtemission kommt und wie stark diese ist, hängt von den jeweiligen Spins der Ladungsträger ab. In anorganischen Halbleitern, wie im Lehr-Lern-Experiment dieser Arbeit eingesetzt, werden die angeregten Zustände als Wannier-Exziton bezeichnet (Sixl et al., 1998, S. 226). Der Abstand zwischen Loch- und Elektronspin ist verhältnismäßig groß, sodass der Radius mehrere Atome inkludiert. Dadurch sind die Singulett- und Triplettzustände energetisch entartet und somit delokalisiert. Aus diesem Grund zerfallen die Exzitonen ausschließlich und zugleich sehr effektiv über den Prozess der Fluoreszenz, da diese über den kurzlebigen Singulett-Zustand verläuft (Sixl et al., 1998, S. 226).

⁷ Nachfolgend wird synonym die Summenformel ZnS verwendet.

4.3 Das elektrische Feld

Ein elektrisches Feld beschreibt einen Raum, der verschiedene Raumpunkte besitzt. Den verschiedenen Raumpunkten sind jeweils Eigenschaften zugeordnet. Diese Darstellung ist für das Verständnis vieler Prozesse in der Chemie und der Physik von großer Relevanz. Kräfte, die durch die Coulomb-Wechselwirkung auftreten, können im elektrischen Feld beschrieben werden (Dohmann, 2020, S. 69). Die elektrische Feldstärke beschreibt die Kraft, die vom elektrischen Feld auf eine Ladung ausgeübt werden kann (Demtröder, 2017, S. 5). Das bedeutet, dass sowohl die Richtung als auch die Stärke des elektrischen Feldes für jeden einzelnen Punkt durch die Kraft auf die Ladung bestimmt werden. Dies kann durch Feldlinien veranschaulicht werden, die stets von einer positiven zu einer negativen Punktladung gerichtet sind (Demtröder, 2017, S. 6). Die Verschiebung einer Ladung im elektrischen Feld wird als elektrische Arbeit bezeichnet, während die durch ein elektrisches Feld an einer Ladung verrichtete Arbeit das elektrische Potential darstellt. Die elektrische Spannung zwischen zwei Punkten im Feld wird durch die Differenz der Potentiale der beiden Punkte beschrieben (Demtröder, 2017, S. 8 f.; Dohmann, 2020, S. 69 f.). Befindet sich ein Leiter in einem elektrischen Feld, wirkt die Kraft desselben auf die frei beweglichen Ladungen des Leiters. Die Kraft verschiebt die Ladungen so lange, bis ein Gegenfeld durch die veränderten Ladungsverteilungen entsteht. Das führt zu einer Kompensation des äußeren Feldes (Demtröder, 2017, S. 17).

4.4 Prozesse in einer Elektrolumineszenz-Folie

Elektrolumineszenz ist ein Phänomen, das in verschiedensten Kontexten Anwendung findet. Das Phänomen selbst kann vor dem Hintergrund der unterschiedlichen Anwendungsmöglichkeiten nochmal klassifiziert werden. Die Elektrolumineszenz kann separiert werden in Elektrolumineszenz durch Ladungsträgerinjektion und -rekombination sowie durch Hochfrequenzfelder (Tanaka et al., 2007, S. 121).

Dem in dieser Arbeit thematisierten Lehr-Lern-Experiment (siehe Kapitel 5.2.1.1) liegt eine Elektrolumineszenz-Folie⁸ aus dem industriellen Drucker zugrunde, die durch das Anlegen eines hochfrequenten Wechselfeldes Licht emittiert.

Die weiteren Ausführungen beziehen sich auf das Lehr-Lern-Experiment.

4.4.1 Aufbau

Der Aufbau der originalen gedruckten Elektrolumineszenz-Folie wird unter anderem bei TANAKA ET AL. vorgestellt (siehe Abbildung 13). Für die Erstellung des in dieser Arbeit entwickelten Lehr-Lern-Experiments wurde sich an diesem Aufbau orientiert.

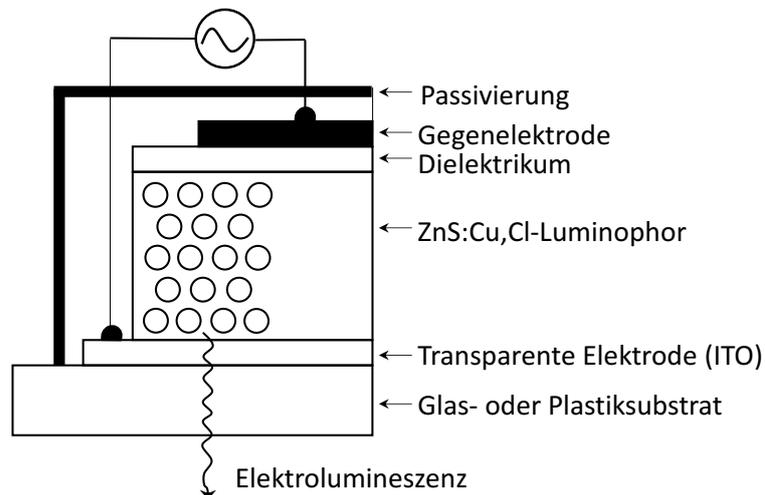


Abbildung 13: Typische Struktur eines AC-Elektrolumineszenz-Bauteils (in Anlehnung an: Tanaka et al., 2007, S. 710).

Die hands-on EL-Folie besteht aus vier Schichten, die in Abbildung 14 dargestellt sind. Im hands-on Experiment wird auf die Passivierung verzichtet, ebenso befindet sich das Dielektrikum unterhalb und nicht oberhalb des Luminophors. In Abbildung 14 wird das Schema der handgedruckten Elektrolumineszenz-Folie abgebildet. Als Substrat wird ein Glas oder eine Folie verwendet, die mit ITO (Indium Tinn Oxide) beschichtet ist (siehe Abbildung 14, 1). Die ITO-Schicht stellt die untere Elektrode dar. Aus Silberleitlack wird ein Kontakt für den Anschluss an die Spannungsquelle auf die ITO-Beschichtung aufgetragen (siehe Abbildung 14, 1). Die zweite Schicht bildet ein Dielektrikum

⁸ Nachfolgend wird die Elektrolumineszenz-Folie auch synonym kurz als EL-Folie bezeichnet.

(siehe Abbildung 14, 2), auf das ein Luminophor aufgebracht wird (siehe Abbildung 14, 3). Die letzte funktionelle Schicht bildet die obere Elektrode (siehe Abbildung 14, 4). Diese kann aus unterschiedlichen leitfähigen Materialien bestehen. Im Lehr-Lern-Experiment besteht sie aus PEDOT:PSS (siehe Abbildung 18). Auch auf die obere Elektrode wird Silberleitlack aufgetragen (Halbrügge et al., 2021, S. 104).

In der Luminophor-Schicht laufen die wesentlichen Prozesse der Elektrolumineszenz ab. Der Luminophor besteht im Lehr-Lern-Experiment aus kupferdotiertem, nanokristallinem Zinksulfid. Das Zinksulfid, welches eine kubische Kristallstruktur hat, hat eine Bandlücke von 3,72-3,77 eV (Fang et al., 2011, S. 592).

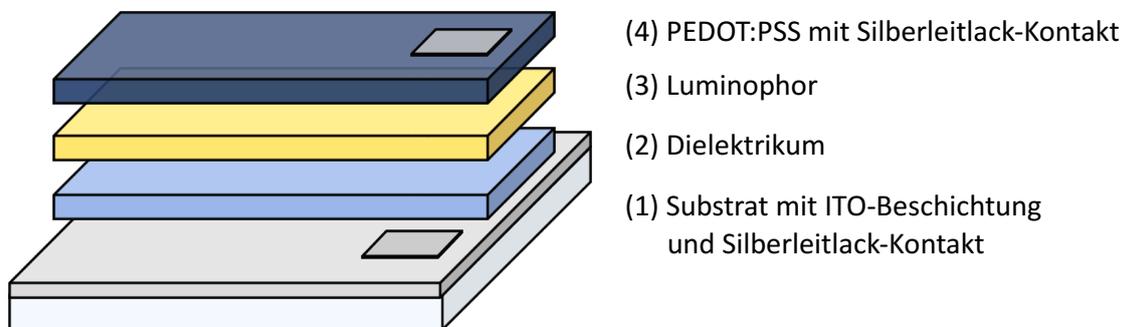


Abbildung 14: Schema der handgedruckten Elektrolumineszenz-Folie (in Anlehnung an: Halbrügge et al., 2021, S. 104).

Es wird häufig in Anwendungen als Grundlage zur Herstellung eines Halbleiters genutzt. Es ist strukturstabil und von geringer Toxizität. Darüber hinaus sind die Herstellungskosten gering (Corrado et al., 2009, S. 3830). Reines Zinksulfid kann aufgrund der großen Bandlücke nicht lumineszieren und bildet das Wirtsgitter, das dotiert wird. Zur Dotierung können verschiedene Metallionen, wie beispielsweise Pb^{2+} , Ag^+ , Cu^+ oder Mn^{2+} , verwendet werden (Corrado et al., 2009, S. 3830). Das im Lehr-Lern-Experiment verwendete Zinksulfid wurde mit einem Kupfer(I)-Salz dotiert. Durch das Kupfer(I)-Ion wird oberhalb des Valenzbandes ein neues Energieniveau ausgebildet; es wird als Aktivator bezeichnet. Das Einbringen von Chlorid-Ionen als Co-Aktivator in das Wirtsgitter sorgt für den Ladungsausgleich und schafft kurz unterhalb des Leitungsbandes ein neues Energieniveau (Chadha, 1993, S. 171). Der Abstand zwischen Valenzband und Aktivatorniveau (Cu^+) beträgt in etwa 1,2 eV, während der zwischen Leitungsband und Co-Aktivatorniveau (Cl^-) nur 0,3 eV beträgt (Fischer, 1963, S. 740).

Es sind verschiedene Kombinationen von Dotierelementen möglich, jedoch ist $ZnS:Cu,Cl$ einer der langlebigsten und gängigsten Halbleiter (Warkentin et al., 2007, S. 1). Der Halbleiter $ZnS:Cu,Cl$ kann sowohl Licht des blauen, als auch des grünen Wellenlängenbereichs emittieren. Ist die Konzentration der Kupfer(I)- als auch Chlorid-Ionen annähernd gleich, wird grünes Licht emittiert. Übersteigt die Kupfer(I)-Ionen-Konzentration die der Chlorid-Ionen wird blaues Licht emittiert. Wird auf den Co-Aktivator Chlorid verzichtet, kann Licht des roten Wellenlängenbereiches emittiert werden (Corrado et al., 2009, S. 3836). Durch eine Frequenzerhöhung des Wechselfeldes wird eine hypsochrome Verschiebung des emittierten Lichtes erreicht. Doch auch der Effekt, der durch die Erhöhung der Frequenz erzielt wird, ist stets konzentrationsabhängig (Harris et al., 2017, S. 7008 f.).

4.4.2 Funktionsprinzip

Für die Prozesse im sogenannten kupferaktivierten Zinksulfid beschrieb FISCHER in den frühen 1960er Jahren erstmalig die Theorie der bipolaren Injektion im elektrischen Wechselfeld. Er detektierte im kupferaktivierten Zinksulfid Lumineszenzlinien, die nahe dem positiven Pol des Wechselfeldes einen großen Kopf hatten, während sie mit langem Schweif in das Feld hineinreichten. Beim Phasenwechsel des elektrischen Feldes entstand ein neuer Schweif am jetzt neuen positiven Pol in der gleichen Linie des vorherigen Schweifs. FISCHER schloss daraus, dass zwei auf einer Linie liegende, spiegelverkehrte Schweife zusammengehören müssen und entwickelte daraus seine Theorie der bipolaren Injektion (Fischer, 1962, S. 1046).

Die Theorie bezieht sich konkret auf die Elektrolumineszenz in pulverförmigen polykristallinen kupferaktivierten Zinksulfiden. Das Zinksulfid liegt nach der Herstellung des Pulvers primär in der kubischen Zinkblendestruktur vor. Das Kupfer bildet dünne, nadelförmige Kupfersulfid-Kristallite aus, die in das Zinksulfid-Gitter eingebettet sind (Tanaka et al., 2007, S. 710 f.).

Das Kupfersulfid selbst ist ein p-dotierter Halbleiter. Beim Anlegen eines elektrischen Feldes konzentriert sich dieses an den Enden der Kupfersulfid⁹-Nadeln, da diese verglichen mit dem Zinksulfid eine hohe elektrische Leitfähigkeit besitzen (siehe Abbildung 15). In

⁹ Nachfolgend wird synonym die Summenformel Cu_2S verwendet.

der Regel wird ein Feld von $10^4 - 10^5 \text{ V cm}^{-1}$ angelegt. An den Enden der Kupfersulfid-Nadeln wird dadurch ein lokales Feld der Stärke 10^6 V cm^{-1} oder mehr induziert (Tanaka et al., 2007, S. 712).

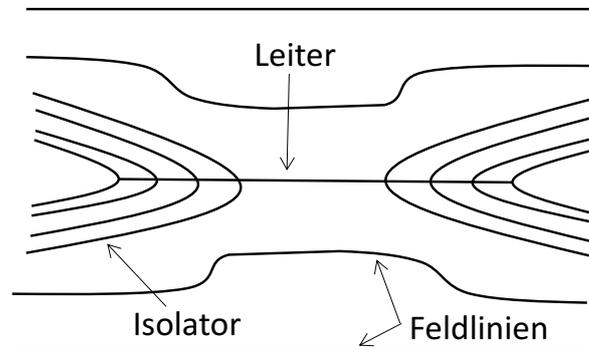


Abbildung 15: Schematische Darstellung des an den Nadelspitzen des Cu_2S -induzierten, starken elektrischen Feldes. Das Cu_2S als Leiter wird in Form einer Nadel abgebildet (in Anlehnung an: Fischer, 1963, S. 735).

Im Bändermodell wird das Anlegen des elektrischen Feldes dadurch beschrieben, dass das Valenz- und das Leitungsband des Zinksulfid-Gitters nicht mehr, so wie das des Kupfersulfids, waagrecht verlaufen (siehe Abbildung 16).

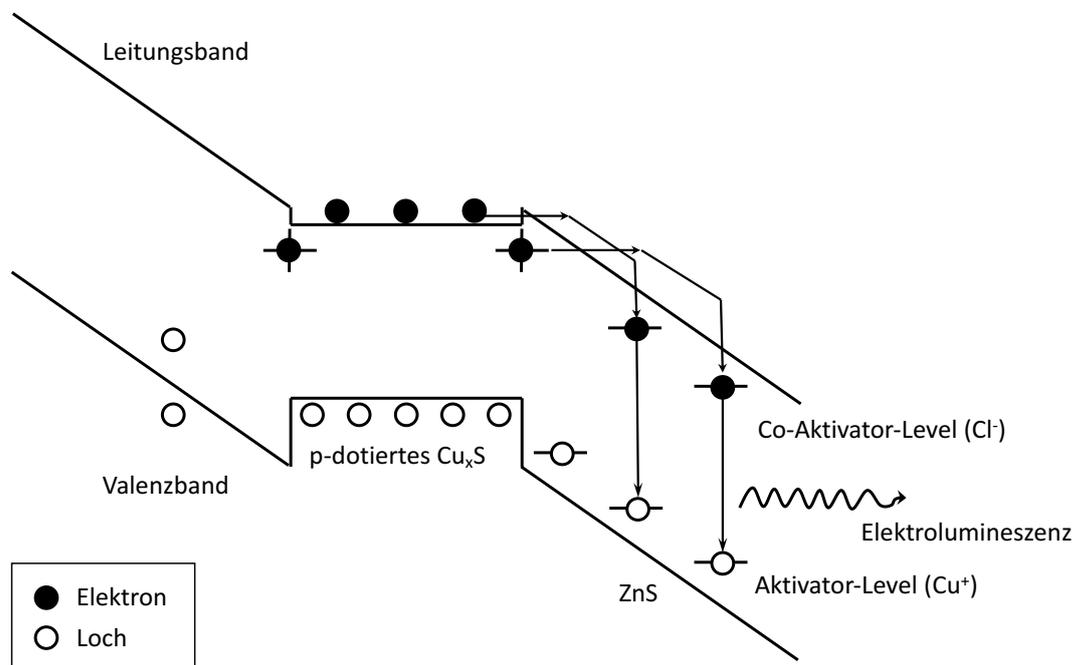


Abbildung 16: Schematische Darstellung des Bändermodells bei gleichzeitiger Injektion von Elektronen und Löchern in das Wirtsgitter aus den je gegenüberliegenden Seiten der Kupfersulfid-Nadel (in Anlehnung an: Tanaka et al., 2007, S. 713).

Damit ein Elektron oder ein Loch vom Kupfersulfid in das Zinksulfid übergehen kann, muss die Schottky-Barriere überwunden werden. Diese bezeichnet die Potentialbarriere, die sich zwischen Kupfer- und dem Zinksulfid befindet, und kann typischerweise durch thermische Anregung überwunden werden. Durch die lokale Feldstärke von 10^6 V cm^{-1} wird die Potentialbarriere stark verringert. Das Tunneln der Elektronen wird ohne weitere Energiezufuhr möglich. Ebenso benötigen die Löcher keine zusätzliche Energie, um vom Kupfersulfid in das Zinksulfid überzugehen (Tanaka et al., 2007, S. 124 ff.).

Dadurch, dass die Ladungsträger aufgrund der abgesenkten Potentialbarriere ohne weitere Energiezufuhr aus der Kupfersulfid-Nadel in das Zinksulfid-Wirtsgitter tunneln können, wird letzteres auf der einen Seite mit Elektronen und auf der anderen mit Löchern angereichert.

Die zusätzlichen Energieniveaus, die durch die Dotierung des Wirtsgitters mit Kupfer(I)-Ionen und Chlorid-Ionen entstanden sind, dienen als Ladungsträgerfallen.

Die Elektronen werden in den Fallen, die durch den Co-Aktivator (Cl⁻) ausgebildet werden, gefangen, während die Löcher in den vom Aktivator (Cu⁺) ausgebildeten Rekombinationszentren gefangen werden (siehe Abbildung 16) (Tanaka et al., 2007, S. 712). Die in den Co-Aktivator-Fallen befindlichen Elektronen tunneln mit großer Wahrscheinlichkeit wieder aus den Fallen heraus, solange das äußere elektrische Feld angelegt ist, da die Potentialbarriere sehr klein ist. Die Löcher verbleiben direkt in den Aktivator-Fallen. Durch das kontinuierliche Injizieren von Ladungsträgern an beiden Enden der Kupfersulfid-Nadel entsteht ein internes elektrisches Feld, welches das äußere immer mehr abschwächt, bis dessen Feldstärke negiert wird. Es folgt die Feldumkehr, bei der das äußere Feld kurzzeitig nicht unter Spannung steht, während dem internen Feld die Feldstärke des vorherigen äußeren Feldes inhärent ist. Dadurch werden Löcher auf der Seite der Kupfersulfid-Nadel in das Wirtsgitter injiziert, auf der zuvor Elektronen injiziert wurden. Durch das interne Feld werden die Elektronen von den Löchern angezogen. Treffen beide Ladungsträger aufeinander, so gelangen die Elektronen in das Akzeptorniveau des Zinksulfids. Es werden Elektron-Loch-Paare ausgebildet, die unter Photonen-Emission relaxieren. Diese Lichtemission während des Phasenwechsels wird als *primary light peak* bezeichnet. Nach der Feldumkehr tunneln die Elektronen durch das neue äußere Feld aus den Fallen heraus und treffen im Wirtsgitter auf die Löcher (Fischer, 1963, S. 740 f.). Es kommt zur Rekombination der Ladungsträger und zur Ausbildung von Elektron-Loch-Paaren. Bei der Relaxation der angeregten Zustände kommt es zur Emission

von Photonen. Diese zweite Phase der Lichtemission wird als *secondary light peak* bezeichnet. Sobald alle Ladungsträger rekombiniert haben, werden neue Elektronen und Löcher durch das umgekehrte äußere Feld aus der Kupfersulfid-Nadel in das Wirtsgitter injiziert. Der Prozess wiederholt sich abwechselnd in jede Richtung.

5 Teilstudie I: Entwicklung der Curricularen Innovation

Im Rahmen der curricularen Innovationsforschung wurde ein Experiment entwickelt, welches sich an den Inhalten des Graduiertenkollegs orientiert. Der ursprüngliche Gedanke war es, einen oder mehrere Aspekte aus der aktuellen Forschung des Graduiertenkollegs ModISC zu identifizieren, die anschließend in das Phasenmodell der curricularen Innovationsforschung überführt werden. Das Ziel war die Entwicklung einer curricularen Innovation, die direkt aus dem Graduiertenkolleg entlehnt wird. Aufgrund der vorherrschenden Umstände der Pandemie war eine enge Zusammenarbeit unter den Forschenden des Graduiertenkollegs über einen langen Zeitraum der ersten Förderperiode nicht möglich. Aus diesem Grund wurde ein verwandtes Thema, die Wechselfeld-Elektrolumineszenz von Halbleitern, vertiefend aufgegriffen. Grundlage dieser Entscheidung war ein bereits existierender Prototyp eines Experiments, welcher im Rahmen der Masterarbeit der Autorin entstanden ist (Halbrügge, 2019).

Der nachfolgende Absatz ist an die Veröffentlichung *HALBRÜGGE ET AL.* (2022) angelehnt.

Die Ausgangslage für dieses Experiment war der Druck von Elektronik, der heute in verschiedensten Bereichen Anwendung findet (Schewe & Rost, 2012). Insbesondere hält gedruckte Elektronik in der Datenverarbeitung (zum Beispiel in Form von Transistoren und Antennen), in der Energiespeicherung (beispielsweise in Form von Batterien) oder in der Optoelektronik (unter anderem in Form von Solarzellen und Leuchtmitteln) Einzug in den Alltag. Auch in der Medizin- und der Automobilindustrie findet sie Anwendung, beispielsweise in Form von Teststreifen für Blutzuckermessgeräte oder von Touchscreens. Deutlich wird, dass alle Bauteile, die mittels der Drucktechnik hergestellt werden, flexibel und sehr dünn sind. Dadurch können sie in vielen unterschiedlichen Bereichen zum Einsatz kommen (Schewe & Rost, 2012). Ferner können neue Anwendungsbereiche erschlossen und alte neu gedacht werden. Ein Beispiel stellen hier die RFID-Chips dar, die sehr leichte und kleine Bauteile verlangen (Verstraelen & Hecker, 2019).

Nicht zuletzt ist die Technik auch aus ökonomischem Blickwinkel vielversprechend, denn gedruckte Elektronik impliziert die Idee elektronische Bauteile perspektivisch dem Zeitungsdruck ähnlich herzustellen. Diese werden in einem kontinuierlichen Druckverfahren, dem sogenannten Roll-to-Roll-Verfahren, produziert (Halbrügge et al., 2022, S. 355). Dieser Aspekt stellt die Relevanz der gedruckten Elektronik für die Zukunft dar und schließt die Forderung TAUSCHS nach Themen mit perspektivischer Relevanz für curriculare Innovationen ein (Tausch, 2019, S. 43, siehe Kapitel 2.4).

5.1 Inspirations- und erste Inventionsphase

Die Entwicklung des Prototyps während der Masterarbeit umfasste die Inspirations- sowie den initialen Teil der Inventionsphase des Phasenmodells nach BANERJI (2023, siehe Kapitel 2.4.4).

Die Inspiration erfolgte durch einen Wissenschaftler der Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HAW) in München, durch den die Autorin erstmals auf die Möglichkeit des Drucks von Elektronik in seinem Forschungslabor an der HAW aufmerksam wurde. Nach der Besichtigung desselben wurde in der Inventionsphase nach didaktischen Konzepten der erste Prototyp eines Experiments zur curricularen Innovation entwickelt (siehe Kapitel 2.4.3). Dabei wurde eng mit dem Wissenschaftler der Hochschule für Angewandte Wissenschaften in München zusammengearbeitet. Es wurden beispielsweise die Originalmaterialien von ihm erhalten und während der Inventionsphase sukzessive substituiert. Darüber hinaus fand ein Austausch hinsichtlich der Bauweise und stetiger Optimierung in Form von weiteren Treffen im Labor statt.

Das erste Ergebnis der Inventionsphase war der Prototyp eines hands-on Experiments zur gedruckten Elektronik, das als Elektrolumineszenz-Folie bezeichnet wird (Halbrügge, 2019).

5.1.1 Experimentelle Ergebnisse der ersten Inventionsphase

Nachfolgend werden der Aufbau, sowie der notwendige zeitliche Aufwand des Prototyps (siehe Abbildung 17) kurz beschrieben.

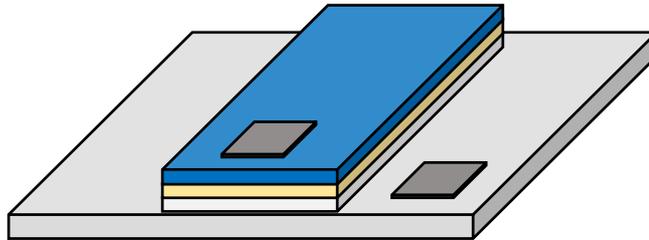


Abbildung 17: Prototyp der hands-on Elektrolumineszenz-Folie (angelehnt an: Halbrügge, 2019, S. 52).

Als Substrat und somit als Trägermaterial für die Schichten, die sukzessive aufgetragen werden, dient eine 3x3 cm große ITO-Folie, die rechts und links mit zwei Klebebandstreifen versehen wird, sodass zwei Abstandhalter entstehen. Die Fläche zwischen beiden Klebebandstreifen beträgt etwa 1x3 cm. Auf ihr werden die einzelnen Schichten aufgebracht. Die erste Schicht besteht aus einem Isoliersprühlack¹⁰, Plastik 70, der auf den oberen Rand der ITO-Folie mittig für etwa fünf Sekunden aufgesprüht wird. Dieser wird anschließend mit einem Doppelspatel verstrichen. Diese Technik wird als doctor-blading bezeichnet (Berni et al., 2004). Der Isolierlack trocknet etwa zehn Minuten bei Raumtemperatur auf der ITO-Folie. Anschließend wird dieser Schritt wiederholt, sodass sich nach insgesamt 20 Minuten zwei Schichten getrockneter Isolierlack auf der ITO-Folie befinden. Zwei weitere Streifen Klebeband werden auf die bereits vorhandenen geklebt und im Anschluss werden zwei Spatelspitzen eines Luminophors auf die mit Isolierlack beschichtete Fläche gegeben. Eine Spatelspitze wird am oberen Rand der Fläche positioniert, während die andere in die Mitte gegeben wird. Der Luminophor wird unter Anwendung der doctor-blading-Technik mit Hilfe eines Doppelspatels zu einer homogenen Schicht verarbeitet. Der Luminophor muss im nächsten Schritt aushärten. Dazu wird eine UV-Leuchtstoffröhre gegen eine Wand ausgerichtet. Das Bauteil wird im Abstand von etwa 4 cm zur UV-Röhre aufgestellt, indem es an ein Becherglas angelehnt wird. Das UV-

¹⁰ Gemisch aus: 1-Methoxy-2-propanol, Monopropylenglycolmethylether, Ethylacetat, Essigsäureethylester, n-Butylacetat (Allgemeine Gefährdungsbeurteilung, siehe Anhang 8.7)

Licht mit einer Wellenlänge von 350 nm trifft waagrecht auf das Bauteil. Der Luminophor ist nach etwa 20 Minuten vollständig ausgehärtet. Der vorletzte Schritt ist das Auftragen einer PEDOT:PSS-Schicht¹¹ (siehe Abbildung 18).

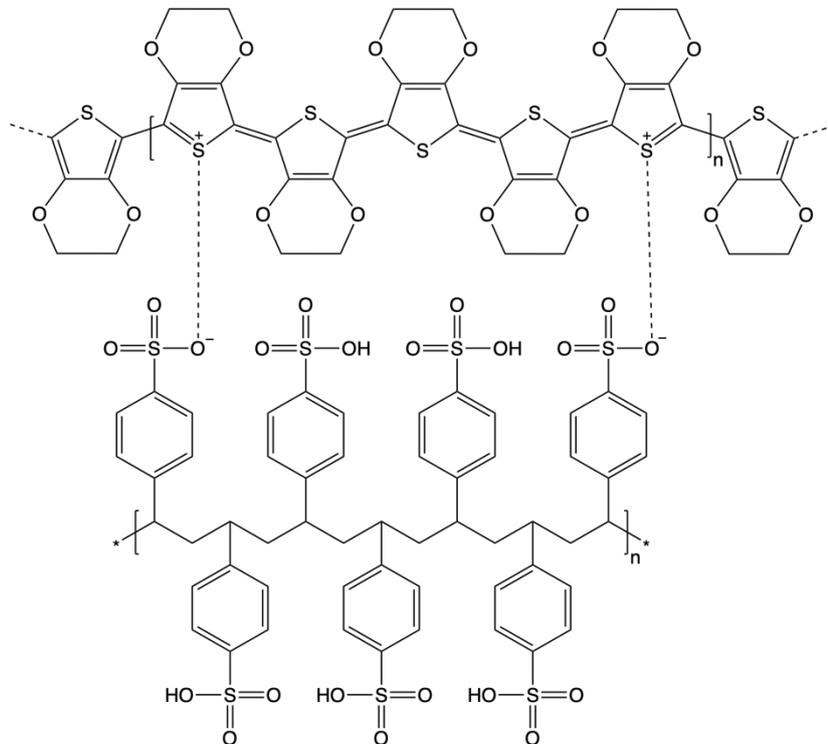


Abbildung 18: Struktur des PEDOT:PSS (in Anlehnung an: Banerji et al., 2019, S. 167).

Das PEDOT:PSS wird ebenso aufgetragen, wie der Luminophor, eine Spatelspitze am oberen Rand der freien Fläche zwischen den Klebebandstreifen und eine in der Mitte. Mit einer Gummirakel wird das PEDOT:PSS mithilfe der doctor-blading-Technik zu einer homogenen Schicht verarbeitet. Nach zehn Minuten bei Raumtemperatur ist die PEDOT:PSS-Schicht trocken und die Klebebandstreifen werden entfernt. Sowohl auf die PEDOT:PSS-Schicht, als auch auf die frei gewordene Fläche der ITO-Folie werden 0,5x0,5 cm große Flächen Silberleitlack mit Hilfe des in dem Gebinde vorhandenen Pinsels aufgetragen. Diese beiden Flächen stellen die Kontakte des elektronischen Bauteils dar. Der Silberleitlack trocknet durchschnittlich nach 10 Minuten. Das fertige Device kann an eine Wechselspannungsquelle mit 100 V angeschlossen werden und emittiert beidseitig blaues Licht (Halbrügge, 2019, S. 44 ff.).

¹¹ Poly-(3,4-ethylenedioxythiophen)-poly-(styrolsulfonat)

Im Anhang ist eine allgemeine Gefährdungsbeurteilung (siehe Anhang 8.7) zum Experiment aufgeführt.

5.2 Zweite Inventionsphase und Investigationsphase

Im Rahmen der Dissertation wurde das Experiment wie eingangs beschrieben aufgegriffen, um final eine Lerneinheit bereitzustellen, die im Kontext mit dem Graduiertenkolleg ModISC steht.

Zunächst wurde der Prototyp des Experimentes *Elektrolumineszenz-Folie* als solches in der zweiten Inventionsphase optimiert, bevor er in die Investigationsphase überführt wurde.

Gleichzeitig wurden in der zweiten Inventionsphase Modelle zum Verständnis der Prozesse, die bei Anschluss an die Wechselspannungsquelle ablaufen, erstellt.

5.2.1 Zweite Inventionsphase

Zur Optimierung des Prototyps wurde dieser nochmals analysiert und auf Basis der vier low-Prinzipien (siehe Kapitel 2.4.3) weiterentwickelt. Dabei wurden insbesondere die Prinzipien *low-time* und *low-tech* fokussiert (Banerji et al., 2018b, S. 57). Im Bild des Funktionsmodells von PARCHMANN ET AL. wurde das Filtrat nach dem ersten Filtrieren noch ein zweites Mal aufgereinigt (2017, S. 162).

Der Bedarf der Optimierung des Prinzips *low-tech* wurde aufgrund der Nutzung der UV-Leuchtstoffröhre zur Aushärtung des Luminophors identifiziert. Dabei lag der Schwerpunkt auf der Reduktion der relativen Komplexität dieses Schrittes. Der Aufbau der zur Wand gerichteten Leuchtstoffröhre mit dem Bauteil, das in einem Abstand von 4 cm zur Leuchtstoffröhre an ein Becherglas gelehnt aufgebaut werden muss, erschien für den Einsatz mit Lernenden wenig praktikabel. Es wurde eine Aushärtungsmöglichkeit gesucht, die verständlich und einfach handhabbar ist. Daher wurde ein UV-Gerät zur Aushärtung von Nagellack in Betracht gezogen. Insgesamt wurden fünf unterschiedliche UV-Geräte getestet. Diese wurden primär nach ihrem Preis ausgewählt. Neben dem Preis

unterscheiden sich die Geräte in ihrer Bedienung. Bei einigen stellt sich auf Knopfdruck ein Timer ein, der die Zeit der Belichtung mit UV-Licht limitiert. Üblich sind Zeitintervalle von 30, 60 und 90 Sekunden. Die meisten Geräte haben zudem eine integrierte Sensorik, die das Einschalten der Belichtung bei Bewegung initiiert. Nach einer Testreihe aller Geräte stellten sich zwei UV-Geräte, das Aldi Quigg mit 48 Watt und der Nagelhärter von Navanino mit 40 Watt als am besten heraus. Nachfolgend wurden beide Geräte zu gleichen Teilen bei den Erprobungen eingesetzt. Der Nagelhärter von Navanino eignet sich perspektivisch besser, da er kleiner ist. Für die Erstellung eines Lehr-Lern-Koffers im vierten Schritt des Phasenmodells, der Innovation, ist dieser Aspekt relevant (siehe Kapitel 2.4.4). Beiden Geräten ist gemein, dass sie eine wesentlich schnellere Aushärtung des Luminophors begünstigen und einen Timer enthalten. Es konnte festgestellt werden, dass eine durchschnittliche Aushärtungszeit von sechs anstelle von 20 Minuten ausreichend ist. Darüber hinaus wurde der Schritt des Luminophors weiter optimiert, indem das Bauteil, nachdem es aus dem UV-Gerät genommen wurde, für zehn Minuten auf eine Heizplatte gelegt wird. Anschließend ist die Luminophor-Schicht ausgehärtet und trocken, sodass die PEDOT:PSS-Schicht problemlos aufgetragen werden kann. Für Aushärtung und Trocknung ergibt sich summarisch eine Dauer von durchschnittlich etwa 16 Minuten.

Die Optimierung des Aspektes *low-time* wurde mit Hilfe zweier studentischer Hilfskräfte vorgenommen, die von der Autorin der Arbeit angeleitet wurden, da der Prototyp mit einer durchschnittlichen Durchführungszeit von 73 Minuten die Dauer einer regulären Unterrichtsstunde überschreitet, wenn diese 45 oder 60 Minuten beträgt. Die durchschnittliche Durchführungszeit trifft auf geübte Personen zu, die sowohl die Viskositäten der aufzutragenden Materialien einschätzen können, als auch die doctor-blading-Technik beherrschen. Es ist wahrscheinlich, dass ungeübte Personen einen längeren Zeitraum zur Durchführung des Experimentes benötigen.

Indem die studentischen Hilfskräfte, für die das Experiment zu Beginn unbekannt war, die bis dato gültige Durchführungsbeschreibung ausführlich studierten und die einzelnen Schritte durchführten, wurde deutlich, welche Optionen es zur Reduzierung des zeitlichen Aufwandes gibt. Dabei wurde festgestellt, dass jeder Schritt Raum für eine zeitliche Optimierung bot.

Während der Phase der Optimierung konnte im ersten Schritt das wiederholte Auftragen vom Isolierlack als nicht notwendig identifiziert werden. Stattdessen konnte gezeigt

werden, dass es ausreicht, eine einzige Schicht Isolierlack zu verwenden, die zugleich dünn aufgetragen werden kann. Dadurch ergibt sich eine große Zeitersparnis im ersten Schritt, da die Trockenzeit von insgesamt 20 Minuten auf drei bis fünf Minuten reduziert werden konnte. Das dünne Auftragen kann durch mehr Druck auf den Doppelspatel erfolgen.

Durch diese Optimierung konnte auch der zweite Streifen Klebeband als Erweiterung des Abstandhalters vernachlässigt werden, eine weitere Adaptierung im Bereich *low-tech* wurde erzielt.

Im Hinblick auf das PEDOT:PSS konnte auch eine Reduktion der Zeit erreicht werden. Es wurde auch hier gezeigt, dass eine dünne Schicht des leitfähigen Polymers ausreichend ist, um die Funktion in der Elektrolumineszenz-Folie zu erhalten. Zudem wurde ein Föhn eingeführt, der den Trocknungsprozess unterstützt. Auf diese Weise konnte letzterer von zuvor zehn Minuten auf fünf Minuten gekürzt werden. Auch im letzten Schritt ist eine dünnere Schicht Silberleitlack ausreichend, die die jeweils darunter liegenden Schichten verdeckt und so die Kontakte für das Bauteil ausbildet. Auf diese Weise konnte die Dauer des Trocknens auf drei bis fünf Minuten reduziert werden. Insgesamt konnte eine Zeitersparnis von 25-30 Minuten erreicht werden. Neben den beeinflussbaren Parametern ist die Reduktion der Zeit abhängig von den ausführenden Personen.

Darüber hinaus wurde die Nutzung des Doppelspatels im Arbeitsschritt, in dem der Luminophor aufgetragen wurde, durch eine Gummirakel ersetzt. Diese Optimierung wurde vorgenommen, da eine bessere Handhabbarkeit der viskosen Paste mit der Gummirakel festgestellt wurde. Da die Gummirakel zuvor bereits für die Auftragung des PEDOT:PSS verwendet wurde, stellt dies keine weitreichenden Veränderungen für das Experiment und dessen Techniken dar.

5.2.1.1 Entwicklung von Materialien und Lernmodellen

Um das Experiment sinnvoll in einer Lerneinheit in die Lehre einbinden zu können, wurde aus den experimentellen Untersuchungen der zweiten Inventionsphase zusammenfassend eine schülergerechte Durchführungsbeschreibung entwickelt. Darüber hinaus wurden Modelle und Arbeitsblätter zur Begleitung des Lernprozesses und des Erkenntnisgewinns erstellt. Die Durchführungsbeschreibung wurde ferner in eine digitale Form mit Videosequenzen überführt (Tausch, 2019, S. 43, siehe Kapitel 2.4.1), die die Arbeitsschritte sukzessive darstellt.

Analoge Durchführungsbeschreibung

Nachfolgend werden die vier Schritte zum Erstellen einer hands-on Elektrolumineszenz-Folie dargestellt. Außerdem werden die Bilder mit den jeweiligen benötigten Materialien am Arbeitsplatz abgebildet.

Schritt 1: Vorbereitung und Isolierlack

- a) Positioniere die Folie so vor dir, dass du „OTI“ lesen kannst. Entferne die blaue Schutzfolie.
- b) Überprüfe die Widerstände mit dem Spannungsmessgerät. Wenn du Widerstände messen kannst, handelt es sich um die leitfähige Seite deiner Folie. Auf dieser Seite kannst du weiterarbeiten.
- c) Bringe einen Tesafilmstreifen rechts und einen links auf der Folie auf, sodass in der Mitte ein Tesafilm-freier Streifen von ca. 1 cm entsteht.
- d) Sprühe den Isolierlack oben mittig zwischen die beiden Klebebandstreifen und rakel ihn mit dem Doppelspatel ab, sodass ein dünner, homogener Film entsteht.
- e) Lass die Schicht drei Minuten trocknen.

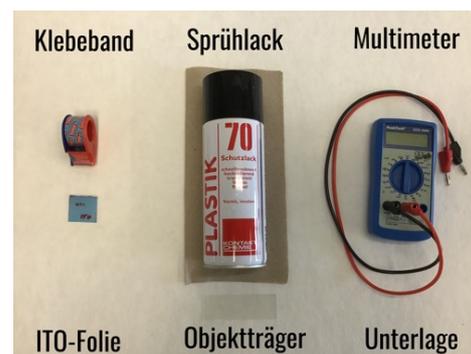
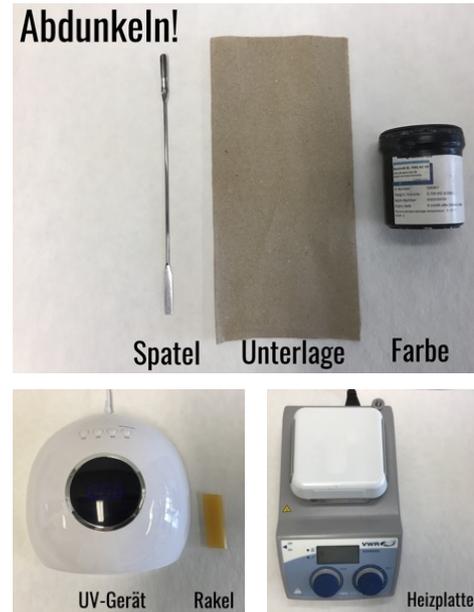


Abbildung 19: Schritt 1 - Vorbereitung und Isolierlack.

Schritt 2: Farbe auftragen, aushärten und trocknen

- Gebe in abgedunkelter Umgebung eine Spatelspitze der Farbe zwischen die beiden Tesastreifen, einen oberhalb und einen mittig auf den Isolierlack.
- Rakel die Farbe mit dem Gummirakel in heller Umgebung zu einer dünnen, homogenen Schicht.
- Schneide deine Folie mit der Unterlage aus, sodass sie in das UV-Gerät passt.
- Belichte das Bauteil drei Mal 120 Sekunden mit UV-Strahlung. Lege dazu einen Gegenstand in das UV-Gerät, sodass die Lichtschranke im Gerät reagiert. Nach 120 Sekunden erlischt das UV-Licht und du musst den Gegenstand herausnehmen und wieder hineinlegen. Wiederhole das anschließend ein drittes Mal.
- Nehme das Bauteil aus dem UV-Gerät und lege es für 10 Minuten zum Trocknen auf die Heizplatte.

**Abbildung 20:** Schritt 2 - Farbe auftragen, aushärten und trocknen.**Schritt 3: PEDOT:PSS auftragen und trocknen**

- Gebe vom PEDOT:PSS zwei Spatelspitzen auf die ausgehärtete, trockene Farbe. Positioniere eine oberhalb und eine mittig auf der Farbschicht.
- Rakel das PEDOT:PSS zu einer dünnen, leicht transparenten, zusammenhängenden, homogenen Schicht.
- Föhne die PEDOT:PSS-Schicht zehn Minuten lang mit dem Abstand von 10 cm zwischen Föhn und Bauteil, bis sie trocken ist.

**Abbildung 21:** Schritt 3 - PEDOT:PSS auftragen und trocknen.

Schritt 4: Silberleitlack auftragen und Anschluss des Bauteils an Spannungsquelle

- a) Entferne vorsichtig die Klebebandstreifen an den Seiten.
- b) Trage den Silberleitlack mit dem Pinsel, der sich im Gebinde befindet, am unteren Rand des trockenen PEDOT:PSS als eine kleine, quadratische Fläche auf.
Trage auf die ITO-Folie eine zweite Silberleitlackfläche auf der Höhe der ersten in gleicher Art und Weise auf.
- c) Lasse den Silberleitlack drei Minuten an der Luft trocknen.
- d) SchlieÙe das fertige Bauteil an den Inverter an, indem die Krokodilklemmen auf je einer der beiden Silberleitlackflächen positioniert werden.
- e) Betätige den Knopf am Inverter. Wenn du alles richtig gemacht hast, leuchtet deine Folie jetzt.



Abbildung 22: Schritt 4 - Silberleitlack auftragen und Anschluss des Bauteils an Spannungsquelle.

Digitale Durchführungsbeschreibung

Bei den Arbeitsschritten des Experiments handelt es sich um Techniken, die für Lernende weitestgehend unbekannt sind. Daher wurde auch eine digitale Durchführungsbeschreibung erstellt. Diese bietet die Möglichkeit, die einzelnen Arbeitsschritte nicht nur durch Lesen, sondern auch durch Anschauen zu verstehen. Die Techniken können besser nachvollzogen werden. Gleiches gilt für die Benutzung des UV-Gerätes. Es wurde eine Prezi-Präsentation erstellt, die als Lernumgebung dient.

In der ersten Version der Prezi-Lernumgebung wurde das Herstellen der hands-on Elektrolumineszenz-Folie in vier Schritten beschrieben (siehe Abbildung 23). Beispielhaft wird in Abbildung 23 der erste Arbeitsschritt dargestellt. Ein öffentlicher Link zur finalen Version der Prezi befindet sich im Anhang dieser Arbeit (siehe Anhang 8.8).



Abbildung 23: Ausschnitt aus der ersten Version der Prezi-Lernumgebung.

Um die Prozesse im fertigen Bauteil *Elektrolumineszenz-Folie* für Lernende zu visualisieren, wurden aus der zugrunde liegenden theoretischen Fundierung des Experiments (siehe Kapitel 4) Modelle entwickelt, die in einem zweiten Schritt in Arbeitsblätter integriert wurden. Die Modelle wurden bereits veröffentlicht (Halbrügge et al., 2022).

Die Lerneinheit kann in Abhängigkeit vom Bundesland perspektivisch am Übergang von der Sekundarstufe I zur Sekundarstufe II unterrichtet werden.

Da die Lernenden am Ende der Sekundarstufe I wenig bis kein Vorwissen in Bezug auf Halbleiter, Licht-Materie-Wechselwirkung und Energiestufenmodell haben, stellen die Prozesse in der Elektrolumineszenz-Folie hohe kognitive Anforderungen dar. Aus diesem Grund ist es notwendig, Modelle für den Erkenntnisgewinn bereitzustellen.

Dazu gibt es nach STEINBUCH verschiedene Wege (1977). Jeder dieser Wege beinhaltet sowohl das sogenannte Denkmodell als auch das Anschauungsmodell. Jedem Modell liegt ein Original zugrunde. Das Denkmodell ist im Bewusstsein des Wissenschaftlers verankert. Er verdeutlicht sich dadurch die Strukturen des Originals. Im Denkmodell sind alle für den Wissenschaftler relevanten Aspekte inkludiert, die das Original beinhaltet. Das Original, beispielsweise spektroskopische Ergebnisse, wurden gedanklich durch ein „Sieb“ gelassen,

das es dem Wissenschaftler ermöglicht, Fokusse zu setzen. Ferner kann das Denkmodell Zusatzinformationen enthalten, die der Wissenschaftler aufgrund seiner Forschungssituation hinzudenken kann. Das Anschauungsmodell geht aus dem Denkmodell hervor und dient dem Verständnis der Inhalte durch Leser und Zuhörer. Um Inhalte veranschaulichen zu können, werden sogenannte irrelevante Zutaten genutzt. Diese sind für die Inhalte selbst irrelevant, können jedoch nicht weggelassen werden, da sie für das Modell als solches essentiell sind. Die irrelevanten Zutaten können bei Lernenden zu Fehlvorstellungen führen, weshalb es wichtig ist, sich der Existenz von irrelevanten Zutaten bewusst zu sein, und diese gegebenenfalls zu diskutieren. Irrelevante Zutaten können beispielsweise unterschiedliche Farben und Größen sein. Zusammenfassend befinden sich Original und Denkmodell im Bereich des Verständnisses der Prozesse in der Wahrnehmung, während Denk- und Anschauungsmodell der Veranschaulichung dienen können. Das Denkmodell kann beiden Anforderungen gerecht werden. Nicht zwangsläufig geht das Denkmodell dem Anschauungsmodell voraus, Wissenschaftler machen sich häufig reale Modelle zunutze, indem sie diese zeichnen oder bauen, bevor sie ein Denkmodell in ihrem Bewusstsein manifestieren (Steinbuch, 1977, S. 10 ff.).

Der Fokus der Lerneinheit wurde auf die Prozesse im Luminophor, dem Herzstück der Elektrolumineszenz-Folie, gelegt, da diese im Zusammenhang mit dem Graduiertenkolleg ModISC von größter Relevanz sind. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden daher die Funktionen des Isolators, sowie die der Elektroden (PEDOT:PSS und ITO) im Bauteil der Elektrolumineszenz-Folie aus forschungspragmatischen Gründen vernachlässigt. Es bietet sich perspektivisch durchaus an, diese für die Komplettierung eines Lehr-Lern-Koffers und zum Angebot weiterer Differenzierungsmaßnahmen in die erstellten Modelle einzubetten.

Anschauungsmodell

Um zunächst einen Bezug zur Luminophor-Schicht des Bauteils zu erhalten, wurde aus dem makroskopischen Original ein Anschauungsmodell erstellt, welches die einzelnen Schichten darstellt und die Luminophor-Schicht gleichzeitig strukturell hervorhebt (siehe Abbildung 24).

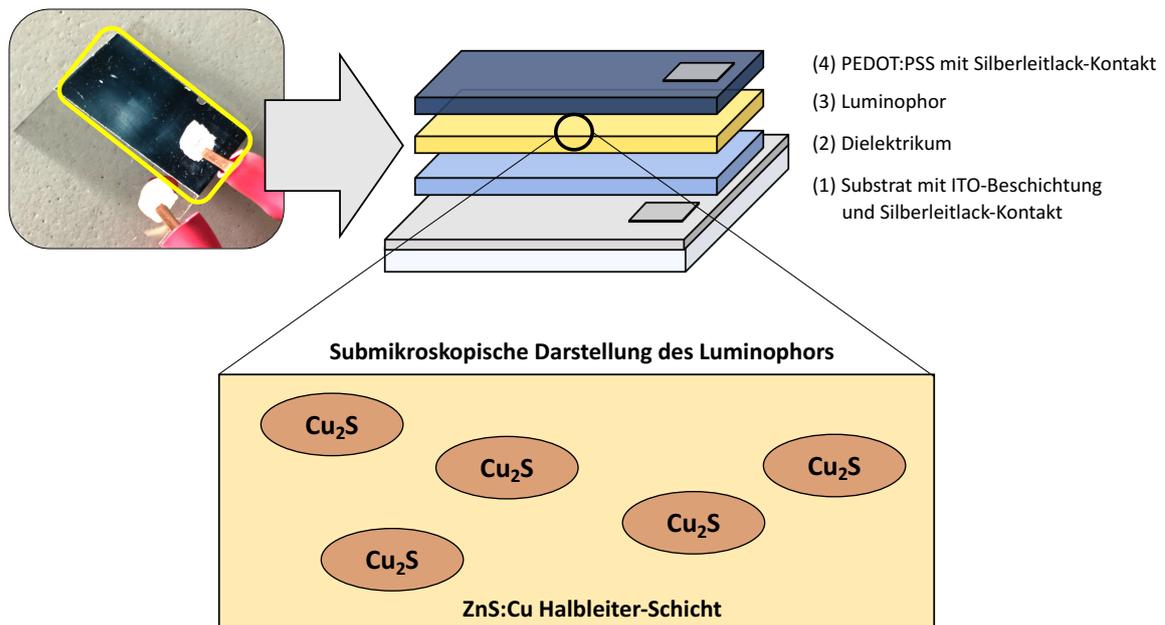


Abbildung 24: Anschauungsmodell des gesamten Bauteils mit submikroskopischem Fokus auf die Luminophor-Schicht (in Anlehnung an: Halbrügge et al., 2021, S. 108).

Alle Schichten des Bauteils sind in farblicher Anlehnung an das Original dargestellt. Im Vergleich zur Schwarz-Weiß-Darstellung bei TANAKA ET AL. (2007, S. 710, siehe Kapitel 4.4.1) wird das Dielektrikum zwischen beschichtetem Substrat und Luminophor abgebildet, da es sich im hands-on Experiment dort befindet. In der submikroskopischen Darstellung der Luminophor-Schicht wird das dotierte Zinksulfid als eine zusammenhängende Fläche dargestellt, auf die polykristalline Struktur desselben wird bewusst verzichtet. Ebenso sind die Fehlstellen, die durch die Dotierung mit dem Aktivator (Cu^+) und dem Co-Aktivator (Cl^-) in die polykristalline Struktur eingebettet sind, nicht dargestellt. Das Anschauungsmodell soll die Existenz der nadelförmigen Kupfersulfid-Kristalle verdeutlichen. Diese werden daher explizit dargestellt.

Strukturmodell

Aus der submikroskopischen Darstellung der Luminophor-Schicht wurde anschließend ein sogenanntes Strukturmodell entwickelt (siehe Abbildung 25). Der Begriff Strukturmodell wurde in Anlehnung an den von BARKE UND HARSCH verwendeten Strukturmodell-Begriff

Investigationsphase

gewählt (2011, S. 4 f., 43 f.). Das Strukturmodell wurde aus dem Anschauungsmodell FISCHERS (1963, S. 735, siehe Kapitel 4.4.2) und dem eigenen Denkmodell konzipiert, sodass es zum Verständnis der Prozesse der bipolaren Injektion dienen kann. Irrelevante Zutaten des Modells sind die verschiedenen Farben sowie die Pfeile, die die jeweils verschiedenen Richtungen des elektrischen Feldes verdeutlichen sollen (Barke et al., 2018, S. 243).

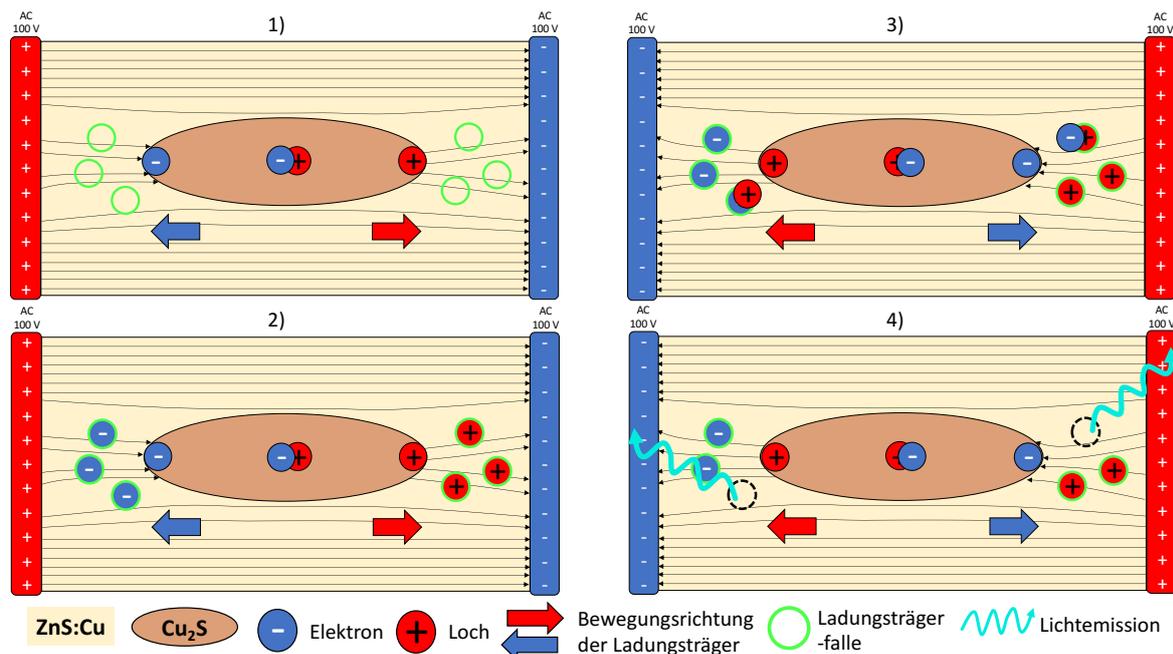


Abbildung 25: Strukturmodell der Prozesse in der EL-Folie: Die Luminophor-Schicht unter Einfluss des elektrischen Wechselfeldes. 1) Ladungsträger werden aus den Cu_2S -Kristallen in das ZnS -Wirtsgitter mit Fallen induziert. 2) Die Ladungsträger bewegen sich in Richtung der Elektroden und werden auf dem Weg in den Fallen des Wirtsgitters gefangen. 3) Durch die Feldumkehr des Wechselfeldes erfolgt ein Wechsel der Richtung der bipolaren Injektion. Die neu injizierten Ladungsträger treffen auf gefangene Ladungsträger mit gegensätzlicher Ladung. 4) Die gefangenen Elektronen und Löcher rekombinieren unter Lichtemission (in Anlehnung an: Halbrügge et al., 2021, S. 109).

Um den Prozess der Ladungsträgerinjektion sowie den der Rekombination im Strukturmodell darzustellen, wird die Luminophor-Schicht allein dargestellt. Nachdem das Denkmodell durch den Filter der Didaktik und Methodik (Parchmann et al., 2017, S. 162, siehe Kapitel 2.4.1) gegeben wurde, wurden die anderen Schichten des Bauteils im Sinne der didaktischen Reduktion in der Darstellung vernachlässigt. Die Luminophor-Schicht steht im Fokus der Lerneinheit. Um Fehlvorstellungen vorzubeugen, bedarf es einer obligatorischen Erwähnung dieser didaktischen Reduktion. Die Lernenden müssen durch die Lehrkraft darauf hingewiesen werden, dass sich auch alle anderen Schichten des

Bauteils zeitgleich unter Einfluss des Wechselfeldes befinden, diese jedoch in der Darstellung vernachlässigt wurden.

Im Strukturmodell sind die Feldlinien des Wechselfeldes durch dünne, schwarze Pfeile dargestellt, die stets vom positiven zum negativen Pol verlaufen (Demtröder, 2017, S. 6; Wellach, 2011, S. 3). Die Bewegungsrichtung der Ladungsträger wird anhand der unterschiedlich farbigen Pfeile (blau und rot) angedeutet. Dabei stellt der rote Pfeil die Bewegungsrichtung der Löcher dar, während der blaue Pfeil die der Elektronen verdeutlicht. Die Ladungsträger werden an den Enden der Cu_2S -Nadel in das ZnS -Wirtsgitter induziert (siehe Abbildung 25, 1). Im Strukturmodell wird die Dotierung durch hellgrüne Kreise dargestellt, die in das ZnS -Wirtsgitter integriert sind und als Ladungsträgerfallen bezeichnet werden. An dieser Stelle kann die Lehrkraft autonom entscheiden, ob sie die Ladungsträgerfallen im Sinne der Dotierung vertiefend thematisieren möchte. So kann eine Differenzierung erfolgen. Die Ladungsträgerfallen werden detaillierter im Energiemodell beschrieben (siehe Abbildung 27). Die Ladungsträger werden in den Ladungsträgerfallen gefangen (siehe Abbildung 25, 2). Die Phasenumkehr wird durch die vertauschten Farben der Richtungspfeile, sowie durch die Änderung der Farben der Elektroden dargestellt. Die Richtung der bipolaren Injektion ändert sich und die gefangenen Ladungsträger bilden mit den neu injizierten Ladungsträgern Elektronen-Loch-Paare aus (siehe Abbildung 25, 3). Diese relaxieren unter Lichtemission (siehe Abbildung 25, 4). Die Rekombination der Ladungsträger wird vereinfacht durch blaue Pfeile in Wellenlängenform dargestellt (siehe Abbildung 25, 4). Die Farbe des emittierten Lichtes wird aufgegriffen. Vernachlässigt wird im Sinne der didaktischen Reduktion die Unterscheidung des *primary* und des *secondary light peaks* (Fischer, 1963, S. 740 f.) (siehe Kapitel 4.4.2). Nach Rekombination wird an der Stelle des zuvor gefangenen Ladungsträgers ein Kreis in Form einer gestrichelten Linie dargestellt. Diese verdeutlicht die Rekombination und die damit einhergehende Relaxation der angeregten Zustände, aus der ein Photon hervorgeht.

Vom Schalenmodell zum Energiestufenmodell

Nachfolgend wird eine Modelldarstellung entwickelt, die den gedanklichen Transfer vom Schalen- zu einem vereinfachten Energiestufenmodell begleitet. Diese Kenntnis schafft initial die Grundlage für das Verständnis des Energiemodells, welches die Prozesse in der Elektrolumineszenz-Folie beschreibt (siehe Abbildung 27). Das Schalenmodell ist den Lernenden zum Ende der Sekundarstufe I in der Regel bekannt.

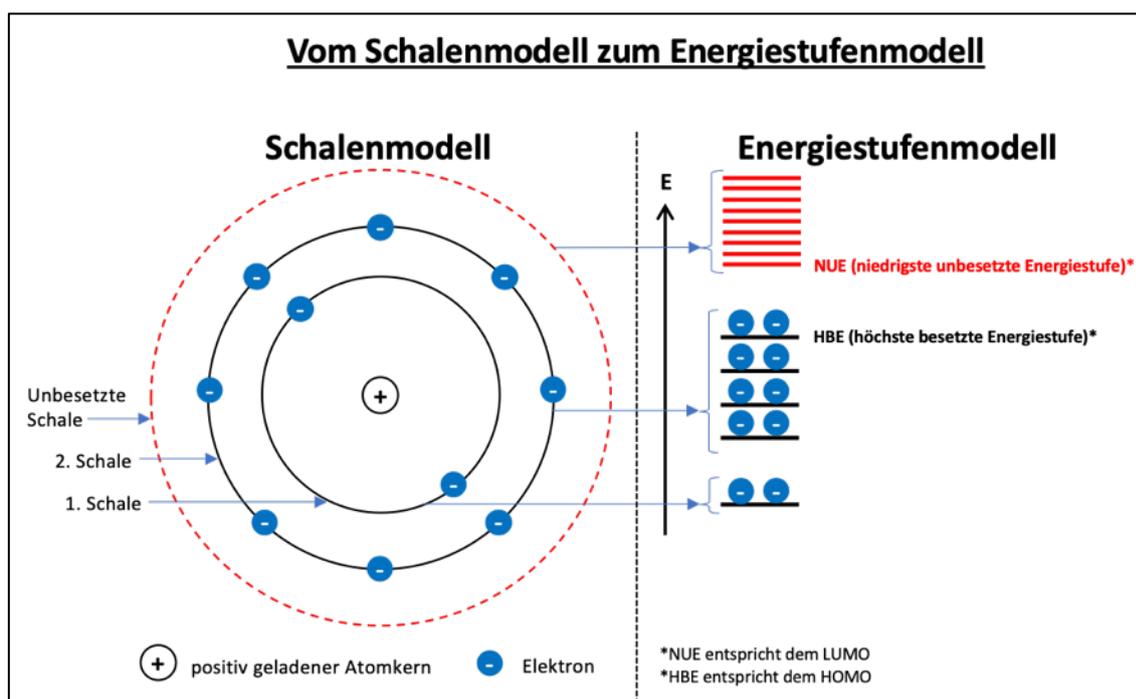


Abbildung 26: Vom Schalenmodell zum Energiestufenmodell (Halbrügge et al., 2022, S. 358).

Die im Bohrschen Atommodell als Kreise dargestellten Schalen werden in Linien überführt, die sogenannten Energiestufen. Die Besetzung der Schalen mit Elektronen wird analog auf die Energiestufen übertragen (siehe Abbildung 26). Die erste Energiestufe befindet sich energetisch ganz unten und ist, wie die erste Schale, mit zwei Elektronen besetzt. Die zweite Schale fasst acht Elektronen und wird in Form von vier sehr eng beieinander liegenden Energiestufen dargestellt, die jeweils mit zwei Elektronen besetzt sind. Die letzte besetzte Energiestufe wird als *höchste besetzte Energiestufe* (HBE) bezeichnet. Die dritte Schale ist leer, kann aber 18 Elektronen fassen. Daher wird diese in neun eng beieinander liegende Energiestufen überführt, welche alle leer sind. Die unterste von diesen wird als *niedrigste unbesetzte Energiestufe* (NUE) bezeichnet. Dieser Begriff

wurde bereits in den Lernmodellen zur OLED von BANERJI verwendet (2012, S. 80). Die dritte Schale und das NUE werden in den Lernmodellen jeweils durch die rote Färbung gekennzeichnet. Die darüber liegenden Energiestufen sind ebenfalls leer. Ihre Anzahl hängt davon ab, in welcher Periode des Periodensystems sich das dargestellte Element befindet. Relevant ist, dass im Energiestufenmodell jede Stufe nur mit maximal zwei Elektronen besetzt werden darf. Die Stufen werden so lange sukzessive von unten nach oben paarweise und, wenn das nicht mehr möglich ist, einzeln besetzt, bis alle Elektronen des Atoms verteilt sind.

Für den Erkenntnisgewinn im Hinblick auf Photoprozesse sind die *höchste besetzte Energiestufe* (HBE) und die *niedrigste unbesetzte Energiestufe* (NUE) relevant. Im Molekülorbitalmodell entsprechen sie dem HOMO (HBE) und dem LUMO (NUE) (Halbrügge et al., 2022, S. 358).

Zur inhaltlichen Erweiterung des Strukturmodells wurde auf Basis des Bändermodells das Energiestufenmodell zur Elektrolumineszenz-Folie entwickelt. Es wurde ein didaktisch reduziertes Modell entwickelt, welches Aspekte vernachlässigt oder durch Transformation der Begrifflichkeiten verständlicher macht. Ähnlich der Vereinfachungen im Strukturmodell liegt es im Ermessen der Lehrkraft inwieweit sie die Begriffe und die gesamte Thematik vertiefen oder erweitern möchte.

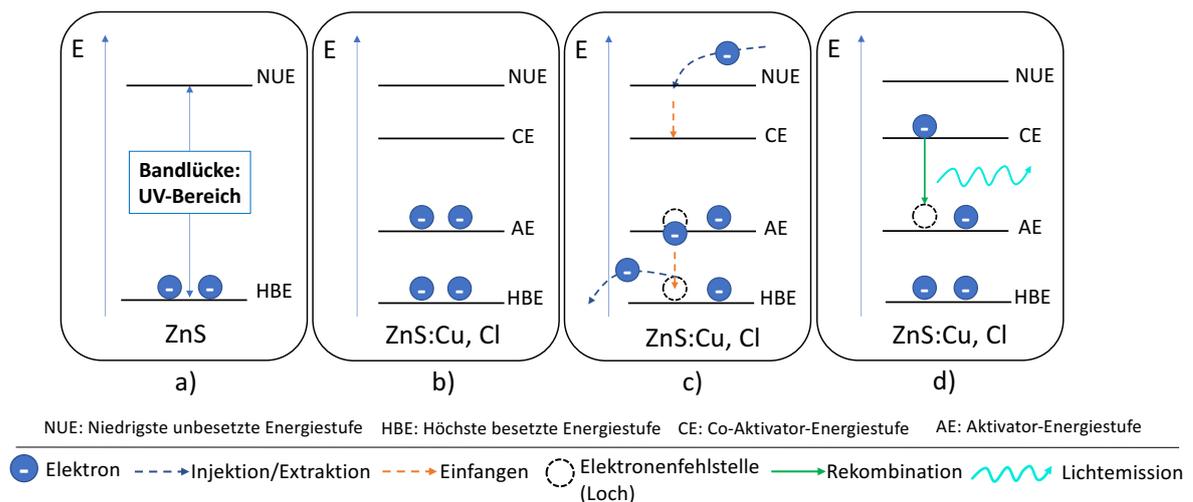


Abbildung 27: Energiestufenmodell der Prozesse in der Elektrolumineszenz-Folie (in Anlehnung an: Halbrügge et al., 2022, S. 358).

In Anlehnung an TANAKA ET AL. werden Valenz- und Leitungsband und die Prozesse der Elektroneninjektion, wie auch der Rekombination in einem Vierschritt dargestellt (siehe

Kapitel 4.4.1). Im ersten Schritt des Energiestufenmodells wird zunächst das ZnS mit seinem Leitungs- und Valenzband, sowie der Bandlücke abgebildet (siehe Abbildung 27a). Die Darstellung des Cu₂S-Kristalls, der im Wechselfeld für die eigentliche Injektion der Ladungsträger sorgt, wird vernachlässigt. Der Fokus des Energiestufenmodells liegt auf der Relaxation des Systems. Ebenso wird auf die fachwissenschaftlich korrekte Bezeichnung der Bänder verzichtet, wodurch das Modell sehr gut an andere Energiestufenmodelle im schulischen Kontext, wie beispielsweise an das Energiestufenmodell zur Elektrolumineszenz in der Eigenbau-OLED von BANERJI ET AL. (2018a, S. 37), adaptierbar ist. Anstelle des Begriffs Valenzband wird der Begriff *höchste besetzte Energiestufe* (HBE) verwendet. Dieser beschreibt die obere Kante des Valenzbands. Analog dazu wird anstelle des Begriffs Leitungsband der Begriff *niedrigste unbesetzte Energiestufe* (NUE) genutzt. Dieser beschreibt die untere Kante des Leitungsbands. Es liegt im Ermessen der Lehrkraft die Begriffe zu vertiefen oder im Sinne eines Vergleichs der organischen Leuchtdiode mit der anorganischen Elektrolumineszenz-Folie die Begriffe Leitungsband und HOMO und Valenzband und LUMO zu thematisieren (Banerji et al., 2018a, S. 35 ff.).

Die Dotierung wird im zweiten Schritt dargestellt, indem zwei neue Energieniveaus in das Diagramm eingefügt wurden. Diese werden in Anlehnung an die Begriffe HBE und NUE als *Aktivator-Energiestufe* (AE) und *Co-Aktivator-Energiestufe* (CE) bezeichnet (siehe Abbildung 27b). Es werden beide für die Dotierung relevanten Ionen (Kupfer und Chlorid) erwähnt, um die Generierung beider neuen Energiestufen zu erläutern.

Vernachlässigt wird die Verschiebung der Bänder, die durch das Anlegen des elektrischen Feldes generiert wird (siehe Abbildung 16), ebenso wie die daraus resultierende Veränderung der Potentialbarriere des ZnS. Beide Aspekte werden unter Berücksichtigung der didaktischen Reduktion nicht erwähnt. Sie sind für das Verständnis der grundlegenden Prozesse von untergeordneter Bedeutung. Stattdessen werden die Prozesse im Energiestufenmodell stark an das bekannte Energiestufenmodell mit zwei Elektronen im HOMO, hier im HBE, angelehnt. Auch die Aktivator-Energiestufe ist im Grundzustand mit zwei Elektronen besetzt. In den Schritten c) und d) wird auf energetischer Ebene dargestellt, welche Prozesse ablaufen, wenn durch das elektrische Wechselfeld Spannung an die Elektrolumineszenz-Folie angelegt wird. Die beiden durch die Dotierung entstandenen Energiestufen ermöglichen Elektronenübergänge mit geringerer Energiedifferenz im Vergleich zu denen im reinen ZnS. Die Energie dieser Übergänge entspricht der von

Photonen im sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Spektrums. Das Anlegen der Wechselspannung an das Bauteil führt zur Injektion von Elektronen in die NUE. Das wird im Modell durch ein einzelnes Elektron dargestellt. Da die CE energetisch niedriger liegt als die NUE, geht das Elektron in die CE über und wird dort gefangen. Das entspricht den Elektronen in den grünen Kreisen im Strukturmodell (siehe Abbildung 25). Gleichzeitig werden aus der HBE Elektronen extrahiert. Im Modell wird das durch ein einzelnes extrahiertes Elektron dargestellt. Es verbleibt eine Elektronenfehlstelle, ein sogenanntes Loch. Das kann als Injektion von Löchern in die HBE interpretiert werden und entspricht der Injektion von Löchern aus der Cu₂S-Nadel im Strukturmodell (siehe Abbildung 25). Das Loch wird von einem Elektron aus der energetisch höher liegenden AE besetzt. Dadurch entsteht ein Loch in der AE. Es kann animistisch von der Wanderung der Löcher gesprochen werden (siehe Abbildung 27c). Der in der CE vorherrschende Elektronenüberschuss und der Elektronenmangel in der AE werden kompensiert, indem das Elektron in der CE im vierten Schritt mit dem Loch in der AE rekombiniert. Dabei wird ein Elektron-Loch-Paar ausgebildet, das unter Freiwerden von Licht im sichtbaren Wellenlängenbereich relaxiert (siehe Abbildung 27d). Die Lichtemission wird im Energiestufenmodell analog zur Darstellung im Strukturmodell (siehe Abbildung 25) durch einen blauen Pfeil in Wellenlängenform dargestellt (Halbrügge et al., 2022, S. 357–359).

Die Lehrkraft soll autonom entscheiden können, welches der beiden Lernmodelle sie im Unterricht thematisieren möchte oder inwiefern sie beide Lernmodelle aufeinander aufbauend verwenden möchte. Auch die Reihenfolge der Lernmodelle ist nicht festgelegt. Es ist sowohl möglich, sich mit der gesamten Lerngruppe auf die energetischen Prozesse zu fokussieren, als auch das Energiestufenmodell als Ergänzung und explizit als Erweiterung für leistungsstarke Lernende bereitzuhalten. Diejenigen Lehrkräfte, die das Energiestufenmodell vor dem Strukturmodell einführen, können das letztgenannte anschließend zur Erläuterung der Herkunft der injizierten Ladungsträger nutzen.

Arbeitsblätter

Aus den entwickelten Lernmodellen sowie dem begleitenden fachwissenschaftlichen Hintergrund wurden die Arbeitsblätter A-E entwickelt.

Es wird empfohlen, dass die Lernenden diese während der Wartezeiten des Experiments ausfüllen.

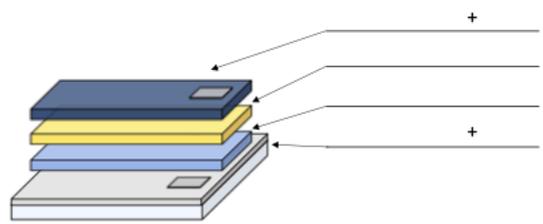
Beispielhaft wird nachfolgend das Arbeitsblatt B vorgestellt (siehe Abbildung 28). Alle weiteren Arbeitsblätter werden kurz beschrieben und befinden sich in ausgefüllter Form im Anhang der Arbeit (siehe Anhang 8.6).



B Schichtaufbau

Aufgabe: Lies den Informationstext zum Schichtaufbau und beschrifte die Abbildung.

Beim Drucken von Elektronik müssen verschiedene Aspekte berücksichtigt werden. Zum besseren Verständnis kann man sich ein gedrucktes elektronisches Bauelement (z. B. eine Elektrolumineszenz-Folie) als "Hightech-Sandwich" vorstellen, das aus verschiedenen übereinander gestapelten aktiven Schichten besteht. Ein dünnes flexibles Substrat bildet die Grundlage, auf die alle anderen Schichten Schritt für Schritt gedruckt werden. Das Substrat kann aus Papier, Kunststoff (PET), Glas, Textilien oder anderen geeigneten Materialien bestehen. Im Experiment wird als Substrat eine durchsichtige Kunststoff-Folie verwendet, die durch das Beschichten mit Indiumzinnoxid (ITO) bereits leitfähig ist. Diese Folie kann im Chemie-Fachhandel erworben werden. Aufgrund ihrer Leitfähigkeit bildet die sogenannte ITO-Folie gleichzeitig bereits die Basis-Elektrode. Für den Druckprozess selbst ist es entscheidend, dass die Materialien (Tinten) viskos bereitgestellt werden. Die Tinten werden nacheinander auf das Substrat aufgetragen und müssen, bevor die nächste Schicht aufgetragen werden kann, gesintert (erwärmt) oder unter UV-Licht ausgehärtet werden. Im ersten Schritt wird der Isolierlack aufgetragen. Dieses dient als Isolierschicht, sodass es zwischen den beiden Elektroden nicht zu einem Kurzschluss kommen kann. Nach dem Trocknen des Isolierlacks bei Raumtemperatur, wird der Luminophor (lat. *lumen*: Licht, altgr. *phoros*: tragend) aufgetragen. In unserem Experiment handelt es sich dabei um einen anorganischen Halbleiter: mit Kupfer dotiertes Zinksulfid. Der Luminophor sorgt beim Anlegen einer Spannung an die Folie für die farbige Lumineszenz. Verschiedene Luminophore können verschiedene Farben erzeugen. Nun wird die Top-Elektrode aufgetragen, um in Verbindung mit der Basis-Elektrode einen vollständigen Stromkreis zu bilden. Im Experiment wird hierfür das Polymer PEDOT:PSS verwendet. Zuletzt wird sowohl auf die Basis-, als auch auf die Top-Elektrode punktuell Silberleitlack aufgetragen. Dieser dient jeweils als Kontakt, um dort die Krokodilklemmen zu befestigen. Die Krokodilklemmen verbinden die Folie mit der Spannungsquelle.



Dieses Arbeitsblatt von Lena Halbrügge ist lizenziert unter CC BY-ND 4.0 (Weitergabe ist zulässig). 1

Abbildung 28: Arbeitsblatt B – Schichtaufbau.

Das Arbeitsblatt B stellt den Schichtaufbau des Bauteils dar. Abgeleitet von dem Anschauungsmodell (siehe Kapitel 5.2.1.1) und einem begleitenden Text sollen die einzelnen Schichten auf dieser Basis beschriftet werden. Dieses Arbeitsblatt kann ohne Vorkenntnisse oder eine explizite vorausgegangene Erklärung zu den einzelnen Schichten auf Grundlage des Textes ausgefüllt werden.

Das Arbeitsblatt A zeigt die analoge Durchführungsbeschreibung. Es werden alle Experimentierschritte detailliert beschrieben und abgebildet.

Das Arbeitsblatt C zeigt die einzelnen Experimentierschritte als Abbildung. Es thematisiert die kleinschrittige Durchführung und den Hintergrund jedes Experimentierschrittes. Die Funktion jeder Schicht der handgedruckten Folie wird fokussiert. Um das Arbeitsblatt C ausfüllen zu können, müssen die Lernenden zuvor von der Lehrperson Informationen erhalten haben. Alternativ kann im Rahmen eines Lehr-Lern-Labors ein Austausch mit den Betreuenden erfolgen, um das Arbeitsblatt erfolgreich auszufüllen.

Im Arbeitsblatt D werden die Teilschritte des Prozesses, der zur Elektrolumineszenz führt, dargestellt. Die Abbildungen des Strukturmodells wurden dazu einzeln aufgeführt. Das Ausfüllen des Arbeitsblattes erfordert, so wie das Arbeitsblatt C, eine vorausgegangene Einführung in die Thematik. Das Arbeitsblatt D kann in Abhängigkeit von der Leistungsstärke der Lerngruppe als Binnendifferenzierungsmaßnahme eingesetzt werden. Auch das Arbeitsblatt E wurde in erster Linie als Differenzierungsmaterial entwickelt. Das Energiestufenmodell der Prozesse in der EL-Folie wurde um die Bewegung der Elektronen sowie um die durch die Dotierung entstandenen Energieniveaus reduziert und durch einen Text ergänzt, der die ursprüngliche, vollständige Abbildung beschreibt. Anhand vorgegebener Elemente sowie des Textes sollen die Lernenden die Elektrolumineszenz-Prozess-Schritte auf energetischem Niveau in der Darstellung vervollständigen.

5.2.2 Investigationsphase

Während der Investigationsphase wird die curriculare Innovation erprobt (Banerji, 2023). Das erfolgt zumeist niederschwellig in Schülerlaboren an Universitäten, in denen eine geeignete Infrastruktur vorhanden ist, sowie ausreichend betreuendes Lehrpersonal zur

Verfügung steht. Dadurch liegt der Fokus auf dem Experiment und andere Einflussfaktoren können weitestgehend eliminiert werden. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde das Experiment dreimal pilotiert. Die Möglichkeiten der Erprobungen unterlagen im Verlauf der vorliegenden Studie aufgrund der Maßnahmen der Pandemie permanenten Veränderungen.

5.2.2.1 Erprobung mit Studierenden

Aufgrund der vorherrschenden Pandemiesituation war es vorerst nicht möglich eine Schulklasse in das Schülerlabor „iLUP“¹² der Universität Potsdam einzuladen. Anstelle der Schüler wurden sechs studentische Hilfskräfte gebeten, das Experiment durchzuführen. Sie erhielten dazu eine kurze Einführung in die Thematik. Es wurde erläutert, was gedruckte Elektronik bedeutet, welche Formen in der heutigen Zeit eine Rolle spielen und wie die Elektrolumineszenz-Folie in diesen Kontext einzuordnen ist.

Im Labor erhielten sie einen Arbeitsplatz, der mit allen notwendigen Materialien und Chemikalien, sowie einem Tablet ausgestattet war. Auf dem Tablet konnten die Studierenden die Experimentierschritte mit Hilfe der Prezi-Lernumgebung verfolgen. Zugleich erhielten sie auch eine analoge Durchführungsbeschreibung (siehe Kapitel 5.2.1.1).

Der Fokus der Evaluation der Erprobung mit den Studierenden lag auf dem Experiment und dem Umgang mit der digitalen und der analogen Durchführungsbeschreibung. Die Studierenden sollten die Handhabbarkeit der Prezi-Lernumgebung, deren Reihenfolge und Anordnung, sowie die Verständlichkeit der darin eingebetteten Videoanleitungen evaluieren. Zudem sollte das Experiment im Detail bewertet werden.

Die Studierenden erhielten konkrete Beobachtungsanweisungen. Sie sollten jeden einzelnen Experimentierschritt und die dazugehörigen Geräte und Chemikalien beurteilen. Anschließend wurden alle Anmerkungen im Plenum gesammelt und im Sinne einer effizienten Nachbearbeitung diskutiert und protokolliert. Die Ergebnisse werden nachfolgend zusammengefasst wiedergegeben.

¹² <https://banerji-lab.com/ilup/>

Positiv wurde zu Beginn herausgestellt, dass alle sechs Studierenden erfolgreich waren und ein lichtemittierendes Bauteil herstellen konnten. Dabei mussten drei Studierenden nach dem Durchführen des letzten Schrittes von der Autorin unterstützt werden, indem optisch erkennbare nicht funktionierende Stellen des Bauteils zugeschnitten wurden. Das war erforderlich, um schlussendlich eine Lichtemission zu generieren.

Es wurden einige Punkte herausgestellt, die vor allem die Vergleichbarkeit von Prezi-Lernumgebung und analoger Durchführungsbeschreibung betrafen. Dabei wurde auch die Qualität einiger Videos sowie die Beschriftungen von Bildern und die Anordnung derselben thematisiert.

Zuletzt wurde auf die Funktion des Wechselrichters eingegangen, der für Herzpatienten bei falscher Anwendung zu Komplikationen führen kann.

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Diskussion mit den Studierenden tabellarisch zusammengefasst, indem diese in die Kategorien Durchführungsbeschreibung, Experiment und Sonstiges eingeteilt werden (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Evaluation der Studierenden-Erprobung.

Durchführungsbeschreibung	<ul style="list-style-type: none"> - Vergleichbarkeit mit der Prezi-Lernumgebung mit der analogen Durchführungsbeschreibung - Qualität und Beschriftung der Videos - Wunsch nach Ziffern (Zahlen nicht ausschreiben) - Experimentierschritte kleinschrittiger darstellen - Analoge Darstellung: Abbildungen zu den einzelnen Experimentierschritten - Möglichkeit des Optimierens des Bauteils durch Zuschneiden erwähnen
Experiment	<ul style="list-style-type: none"> - Mengenangaben konkretisieren - Dicke der Schichten definieren - Genaue Ausführung der Rakeltechnik - Exakte Einstellung des Föhns
Sonstiges	<ul style="list-style-type: none"> - Funktion des Wechselrichters und deren Gefahr für Herzpatienten erwähnen

Auf Basis der Rückmeldungen aus der ersten Erprobung wurden die genannten Aspekte in der Prezi-Lernumgebung, sowie in der analogen Durchführungsbeschreibung überarbeitet. Die Durchführung wurde insgesamt kleinschrittiger gestaltet, sodass die hands-on Elektrolumineszenz-Folie in sechs anstelle von vier Schritten erstellt werden kann. Zudem wurden konkretere Mengen- und Nutzungsangaben gemacht und es wurde im letzten Experimentierschritt auf die Möglichkeit hingewiesen, zunächst nicht funktionierende Bauteile durch konkretes Zuschneiden der Folie optimieren zu können. Es wurde ein Warnhinweis zur Nutzung des Wechselrichters formuliert (auch in der Allgemeinen Gefährdungsbeurteilung, siehe Anhang 8.7). Das Experiment selbst wurde im Anschluss an die Erprobung mit den Studierenden nicht verändert.

5.2.2.2 Erprobung mit einem Wahlpflichtkurs

Im Rahmen eines Seminars konnte nach Beendigung der strengen Regularien während der Pandemie erstmalig die Lerneinheit des Experiments mit zehn Schülern eines Chemie-Wahlpflichtkurses der 10. Jahrgangsstufe eines Berliner Gymnasiums durchgeführt werden. Die zweite Erprobung fand im Rahmen eines Forschungs- und Entwicklungs-Seminars der Chemiedidaktik der Universität Potsdam statt. Der das Experiment betreffende Teil des Seminars wurde von der Autorin angeleitet und es wurden zwei Studierende auf die Planung und die Durchführung der Lerneinheit vorbereitet. Sie adaptierten die Arbeitsblätter an die Bedingungen des Wahlpflichtkurses, den sie vor der Durchführung der Lerneinheit im Rahmen einer Hospitation kennenlernen konnten. Es wurden zwei 90-minütige Unterrichtsstunden in eine theoretische und eine praktische Einheit separiert (vollständige Synopsen siehe Anhang 8.4.1).

In der Arbeitsphase wurde den Lernenden, wie bereits in der Erprobung durch die Studierenden, freigestellt, ob sie mit der Prezi-Lernumgebung oder der analogen Durchführungsbeschreibung arbeiten möchten. Sie wurden gebeten in den Wartezeiten des Experiments an ihrem eigenen Durchführungsprotokoll, sowie dem Arbeitsblatt D (siehe Anhang 8.6) zu arbeiten. Explizit wurde erwähnt, dass für alle Schichten eine möglichst dünne, gleichmäßige Auftragung erforderlich ist. Lücken und Risse in den Schichten sollen vermieden werden.

Die Lehrperson des Wahlpflichtkurses führte während der Arbeitsphase eine teilnehmende Beobachtung durch. Die zweite teilnehmende Beobachtung durch den jeweils nicht anleitenden Studierenden, sowie durch die Autorin entfiel pandemiebedingt.

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Evaluation der Lehrperson zusammenfassend tabellarisch dargestellt (siehe Tabelle 3).

Die Evaluation durch die Lehrperson lässt darauf schließen, dass sich die Lerneinheit so wie in der Erprobung durchgeführt, bereits für den Einsatz im Unterricht eignet. Zudem zeigen drei von vier hergestellten hands-on Elektrolumineszenz-Folien eine Elektrolumineszenz.

Tabelle 3: Ergebnisse der teilnehmenden Beobachtung der Lehrperson.

Einteilung der Unterrichtsstunden	<ul style="list-style-type: none"> - sinnvoll die Theorie so ausführlich zu besprechen, um in der Praxis sicher zu sein - die Reihenfolge (erst Theoriestunde, dann Praxiseinheit) impliziert motivationalen Aspekt
Durchführungsbeschreibungen	<ul style="list-style-type: none"> - Prezi-Lernumgebung selbsterklärend, Videonutzung sollte unbedingt angeboten werden (wurden in den Arbeitsgruppen zu unterschiedlichen Zwecken genutzt: Begleitung der eigenen Durchführung, Absicherung der analogen Durchführungsbeschreibung, bei Unsicherheiten während des Experimentierens)
Experiment	<ul style="list-style-type: none"> - Rakeltechnik war nach mehrfachem Erläutern manuell einfach umzusetzen - optimal wäre eine Alternative zu den exakt 65°C heißen Heizplatten - weitestgehend gut umgesetzt
Arbeitsblätter	<ul style="list-style-type: none"> - gute Gestaltung - wenig Nachfragen, konnten eigenständig ausgefüllt werden - Nennung des Fachbegriffs <i>Luminophor</i>

Nach der Optimierung mit dem Wahlpflichtkurs wurde auf Anraten der Lehrperson der Begriff *Farbe* in allen Arbeitsblättern sowie in der digitalen Durchführungsbeschreibung durch den Begriff *Luminophor* ersetzt. Die Lernenden sollen bewusst an den Fachbegriff herangeführt werden. In den im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Modellen wurde diese Optimierung bereits umgesetzt, da die jeweils aktuellste Version der Modelle dargestellt ist.

5.2.2.3 Erprobung im Schülerlabor iLUP an der Universität Potsdam

Die letzte der drei Erprobungen konnte nach weiteren erlassenen Maßnahmen der Pandemie mit Schülern im Schülerlabor der Universität Potsdam durchgeführt werden. Dazu wurde eine Schülerlabor-Einheit mit Einführungsvortrag, Mittagspause und Laborphase erstellt (vollständige Synopse, siehe Anhang 8.5.1). Die Einheit wurde für vier Stunden geplant und es nahmen insgesamt 13 Schüler teil. Die Lerngruppe bestand aus Schülern, die sich im Rahmen eines Ferien-Förderprogrammes zusammengefunden hatten. Aus diesem Grund lag die Altersspanne der Schüler zwischen 12-15 Jahren. Darüber hinaus handelte es sich um Schüler, die seitens der Organisatoren des Ferien-Förderprogrammes als hochbegabt deklariert wurden.

In der Einführung wurde mit den Schülern erarbeitet, wo die hands-on Elektrolumineszenz-Folie im Alltag einzuordnen ist und warum. In Anlehnung an die Einschätzung der Lehrperson des Berliner Gymnasiums wurde im Einführungsvortrag vor dem Übergang ins Labor bereits die Theorie vermittelt. Im Rahmen des Schülerlabortages konnte so sichergestellt werden, dass die Schüler auch bei einem möglichen zeitlichen Verzug bereits mit der Theorie des Experimentes vertraut sind. Sie erhielten für die Laborphase die Arbeitsblätter A-E (siehe Anhang 8.6), die sie in den Wartezeiten des Experimentes basierend auf dem im Einführungsvortrag erworbenen Wissen ausfüllen sollten. Alle Arbeitsblätter wurden ausgegeben in dem Wissen, dass die Schüler eine hohe Auffassungsgabe haben. Das wurde auch in der Diskussion während des Einführungsvortrages deutlich. Die Schüler wurden gebeten, die Arbeitsblätter in alphabetischer Reihenfolge zu bearbeiten.

Im Labor wurden insgesamt sechs hands-on Elektrolumineszenz-Folien hergestellt, die alle Lumineszenz zeigten.

Der Schülerlabortag wurde auf Basis von Fragebögen evaluiert, die von den Schülern im Anschluss ausgefüllt wurden (siehe Anhang 8.5.2). Dabei lag der Fokus insbesondere auf der Einschätzung der Umsetzbarkeit und Handhabbarkeit des Experimentes sowie der Nutzung der Prezi-Lernumgebung. In Form einer vierstufigen Likert-Skala wurde gefragt, ob verstanden wurde, warum die Elektrolumineszenz-Folie Licht emittiert und ob die Durchführung des Experiments als schwer oder leicht bewertet wird. Darüber hinaus wurde gefragt, wie gut die Rakeltechnik durchführbar war. Ferner sollen die Schüler in einer offenen Frage beantworten, ob sie eher mit der Prezi-Lernumgebung oder mit der analogen Durchführungsbeschreibung gearbeitet haben und dies begründen. Diese Aspekte wurden in der vorausgegangenen Erprobung von der Lehrperson betont, weshalb es sinnvoll erschien, die Ergebnisse durch die Einschätzung der Lernenden zu ergänzen.

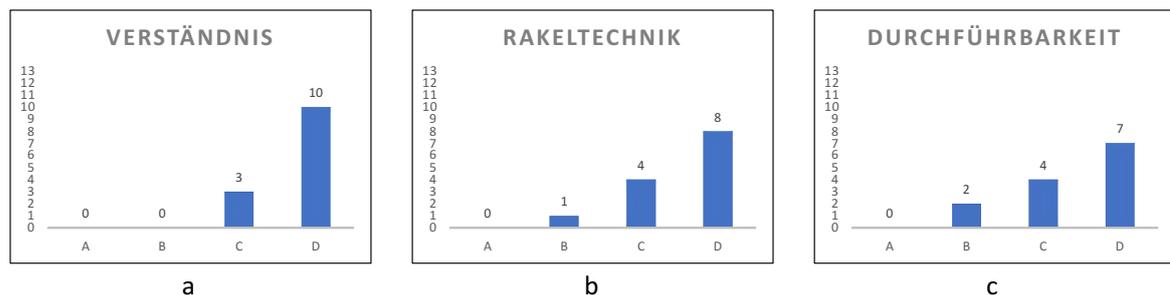


Abbildung 29: Einschätzungen der Schüler in Bezug auf a) das Verständnis: Ich habe verstanden, warum die EL-Folie leuchtet, b) die Rakeltechnik: Für mich war die Rakeltechnik nicht schwer umsetzbar, und c) die Durchführbarkeit des gesamten Experimentes: Ich habe es leicht gefunden, das Experiment durchzuführen. Die Werte A-D stellen die Stufen der Likertskala dar, A: Stimme überhaupt nicht zu, B: Stimme nicht zu, C: Stimme zu, D: Stimme voll und ganz zu.

Auf Basis der kleinen Stichprobe konnte eine erste Übersicht über die Einschätzung von den Schülern zu der Umsetzbarkeit und zur Theorie des Experimentes gewonnen werden (siehe Abbildung 29). Es wurde deutlich, dass alle Schüler glauben verstanden zu haben, wie die Elektrolumineszenz-Folie auf submikroskopischer Ebene funktioniert. Zehn von 13 Schülern sind sich sehr sicher. Das zeigt, dass die Inhalte des Experiments potenziell für Schüler angemessen und verständlich aufbereitet wurden. Dabei sollte nicht außer Acht gelassen werden, dass es sich hierbei um eine kleine sowie spezielle Stichprobe handelt.

Diese Einschätzung ergänzt die der Lehrperson am Berliner Gymnasium, dass die Arbeitsblätter eigenständig ausgefüllt werden konnten. Auch die Einschätzung im Hinblick auf die Rakeltechnik wird durch die Schülereinschätzung bestätigt. Von 13 Schülern konnten zwölf die Rakeltechnik leicht umsetzen. Von den zwölf Schülern stimmten acht einer leichten Umsetzbarkeit voll und ganz zu. Lediglich ein Schüler schätzte die Umsetzung als nicht leicht ein. Für die Durchführbarkeit des Experiments wurden ähnliche Werte herausgestellt. Insgesamt elf Schüler hielten das Experiment für leicht umsetzbar, während zwei Schüler der leichten Umsetzbarkeit nicht zustimmten. Insgesamt decken die Werte der Einschätzung der Rakeltechnik die der Gesamtdurchführbarkeit des Experiments. Das Experiment ist für Schüler der Altersstufen 12-15 Jahre gut umsetzbar. Das wird auch dadurch bestärkt, dass alle Gruppen funktionierende Elektrolumineszenz-Folien bauen konnten.

Im Hinblick auf den Einsatz der digitalen Prezi-Lernumgebung und der analogen Durchführungsbeschreibung stützen die Meinungen der Schüler ebenfalls die Einschätzung der Lehrperson des Berliner Gymnasiums. Insgesamt sieben der 13 Schüler nutzten überwiegend die digitale Prezi-Lernumgebung, während die analoge Variante nur einmal überwiegend genutzt wurde. In vier Fällen wurden beide Varianten ergänzend verwendet. Ein Schüler konnte keine klare Aussage machen. Die überwiegende Verwendung der analogen Durchführungsbeschreibung wurde so begründet, dass die Person es „leichter finde[t], wenn man es liest“ (siehe Anhang 8.5.3). Die überwiegende Nutzung der Prezi-Lernumgebung wurde damit begründet, dass diese übersichtlicher, tiefgründiger und anschaulicher ist. Eine Person begründete es auch damit, dass man „im Video sieht, wie viel von jedem Stoff benutzt wird [...]“ (siehe Anhang 8.5.3). Diejenigen, die die Varianten in Ergänzung zueinander nutzen, lasen in der analogen Variante insbesondere Daten, wie beispielsweise die Zeit ab, während sie den Aufbau und die Durchführung aus der Prezi-Lernumgebung entnahmen. Für eine Person, die beide Varianten nutzte, waren die Videos in der Prezi „am hilfreichsten, aber ohne die Erklärtex te hätte es ebenfalls nicht funktioniert“ (siehe Anhang 8.5.3). Es wird deutlich, dass die Kombination aus digitaler Prezi-Lernumgebung und der analogen Durchführungsbeschreibung sich sehr gut für die Umsetzung neuer Arbeitstechniken in diesem innovativen Experiment eignet. Die Lernenden können sich durch beide Varianten alternierend absichern.

Im Abschlussgespräch der Erprobung im Rahmen des iLUPs wurde darüber hinaus das Energiestufenmodell diskutiert. Auf dieser Grundlage wurde das Modell optimiert, indem das zweite Dotierelement (Chlorid-Ion) Erwähnung findet. Es wurden die genauen Prozesse einer Dotierung diskutiert und im Ergebnis festgestellt, dass es notwendig ist, beide Elemente bereits in der grundlegendsten Darstellung des Energiestufenmodells der Elektrolumineszenz-Folie zu erwähnen, um Fehlvorstellungen keinen Raum zu geben. Im vorherigen Modell war nur das Kupfer-Ion erwähnt worden.

Diese Optimierung wurde in den oben beschriebenen Modellen (siehe Kapitel 5.2.1.1), analog zur Optimierung des Luminophor-Begriffs, bereits vorgenommen.

5.2.2.4 Ergebnisse der Investigationsphase

Mit der dritten Erprobung wurde die Investigationsphase im Rahmen der vorliegenden Studie aus forschungspragmatischen Gründen abgeschlossen. Das Experiment der Elektrolumineszenz-Folie wurde in drei verschiedenen Settings pilotiert und erprobt. Im ersten Setting, der Erprobung mit Studierenden im Schülerlabor, wurde der Fokus auf das Experiment und die Durchführung anhand einer digitalen Lernumgebung und einer analogen Durchführungsbeschreibung gelegt. Nach dieser Erprobung konnten einige Adaptionen insbesondere in den Beschreibungen der Durchführung gemacht werden. In der zweiten Erprobung, die mit einem Wahlpflichtkurs des Faches Chemie an einem Berliner Gymnasium mit insgesamt zehn Schülern stattgefunden hat, wurde das Experiment in eine Lerneinheit implementiert, die sich aus zwei Unterrichtsstunden zusammensetzte. Die in der Inventionsphase entwickelten Modelle kamen in Form von Arbeitsblättern zum Einsatz und es wurde ein Konzept entwickelt, indem sowohl die Theorie vermittelt wird, als auch die Zeit zum Experimentieren eingeplant wurde. Die Lerneinheit wurde von Studierenden durchgeführt und in Form einer teilnehmenden Beobachtung durch die Lehrkraft evaluiert. Diese legte die Beobachtungsschwerpunkte auf die Rakeltechnik, das Vorhandensein von zwei verschiedenen Medien zur Durchführungsbeschreibung, sowie auf die Arbeitsblätter. Dabei wurde festgestellt, dass das Konzept mitsamt der Experimentiertechniken und Arbeitsblätter bereits sehr gut durchführbar war. Im letzten Schritt wurde das Experiment in eine Schülerlabor-Einheit implementiert und im Schülerlabor iLUP der Universität Potsdam durchgeführt. Durch die

Investigationsphase

äußeren Vorgaben bedingt unterschied sich sowohl der zeitliche Rahmen als auch der Ablauf von der Erprobung in der Schule. Im Anschluss daran wurden die von der Lehrperson als Schwerpunkte genannten Aspekte von den teilnehmenden Schülern evaluiert. Im Rahmen der Schülerlabor-Einheit wurden die drei relevanten Aspekte Verständnis der Prozesse im Experiment, praktische Durchführbarkeit des Experimentes, sowie Umsetzung der häufig zum ersten Mal ausgeführten Rakeltechnik von den Schülern überwiegend positiv bewertet. Es gab keine nennenswerten Probleme, weder bei der Umsetzung noch beim Verständnis der Inhalte.

Das Experiment ist idealerweise im Übergang zwischen der Sekundarstufe I und II einzuordnen, das bedeutet für Bundesländer mit G8 den Einsatz in Klassenstufe zehn und in Bundesländern mit G9 in Klassenstufe elf. Im Sinne der Differenzierung ist es darüber hinaus möglich, das Experiment in früheren Klassenstufen einzusetzen. Insbesondere eignet es sich für den Einsatz in außerschulischen Lernorten sowie in Projektarbeiten, wie beispielsweise *Jugend forscht*.

Beim letztgenannten konnte es bereits während der Durchführung der vorliegenden Studie erfolgreich eingesetzt werden. Es wurde eine Facharbeit auf Grundlage des Experiments der Elektrolumineszenz-Folie erstellt.

Über die Investigationsphase dieser Studie hinaus ist es sinnvoll die Arbeitsblätter und Lernmodelle in weiteren Erprobungen zu evaluieren, da der Fokus der erfolgten Erprobungen insbesondere auf dem Experiment und auf dessen Umsetzung im Rahmen einer Unterrichtsplanung lag. Die Modelle wurden bereits in Form der Arbeitsblätter und in den Input-Vorträgen verwendet und waren auf diese Weise in die Planung der Lerneinheit und des Schülerlabors integriert. Darüber hinaus wurden sie auf Konferenzen und Tagungen zur Diskussion gestellt und Anmerkungen adaptiert. Es ist somit ausreichend den Fokus in der Implementationsphase verstärkt auf die Arbeit mit den Modellen zu richten.

Im Rahmen dieser Arbeit sollte das Experiment die ersten drei Phasen des Phasenmodells zur Curricularen Innovationsforschung durchlaufen. Es sollte so weit entwickelt und evaluiert werden, dass es in der Wissenschaftskommunikationsmaßnahme *Girls' Day* des Graduiertenkollegs ModISC Anwendung finden kann. Zum Zeitpunkt des Abschlusses der

vorliegenden Studie befindet sich das Experiment der hands-on Elektrolumineszenz-Folie im Übergang zwischen der Investigations- und der Innovationsphase. Der erste Prototyp einer Materialbox existiert bereits.

5.2.3 Ausblick

Die hands-on Elektrolumineszenz-Folie wurde weiterführend charakterisiert. Die Ergebnisse dienen der Vertiefung des wissenschaftlichen Hintergrundes und der Auseinandersetzung mit demselben im Rahmen der Lerneinheit. Sie wurden bis zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht pilotiert.

5.2.3.1 REM-Aufnahme des Querschnittes der Elektrolumineszenz-Folie

Mit einem Rasterelektronenmikroskop wurde der Querschnitt der handgedruckten EL-Folie aufgenommen (siehe Abbildung 30). Es wurden die Schichtdicken gemessen. Als Referenzwert kann der Durchmesser eines menschlichen Haares von 60-80 μm angenommen werden.

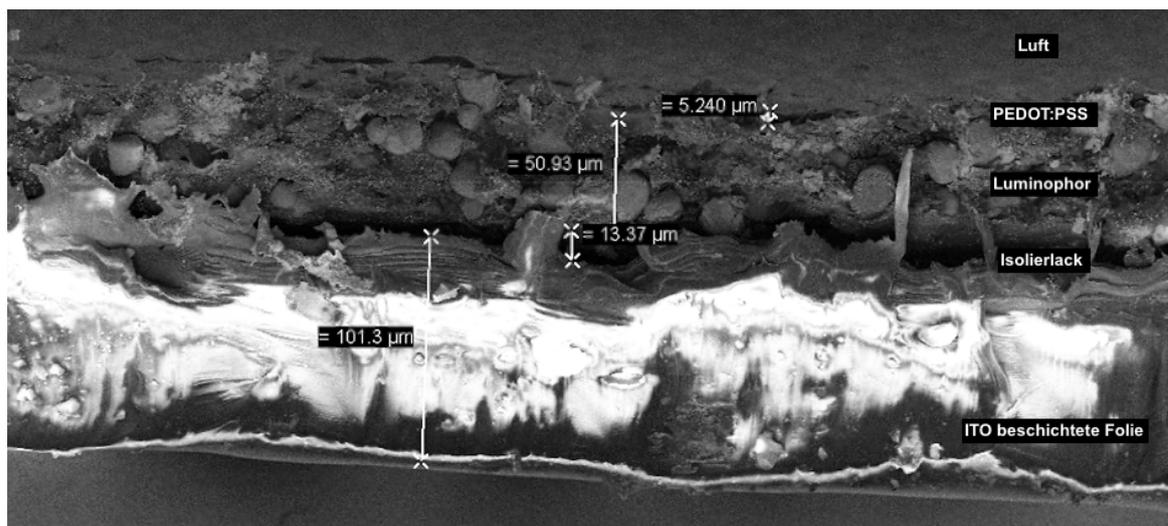


Abbildung 30: REM-Aufnahme vom Querschnitt der hands-on Elektrolumineszenz-Folie (Halbrügge et al., 2022, S. 359).

Investigationsphase

Es wurde eine insgesamt etwa 170 μm dicke Schicht detektiert. Das Substrat aus Folie und ITO-Beschichtung ist in etwa 100 μm dick. Die übrigen Schichten sind in Summe etwa 70 μm dick, das Luminophor allein weist eine ungefähre Dicke von 50 μm auf. Deutlich ist auch die polykristalline Struktur des Luminophors zu erkennen. Die REM-Aufnahme gibt Lernenden einen Eindruck von Größen im Mikrometerbereich sowie die Möglichkeit Schichtdicken in Relation zu verstehen. Darüber hinaus kann auf Basis der Aufnahme die Technik einer solchen Messung diskutiert werden. Durch die verschiedenen Elemente und Elementverbindungen in den einzelnen Schichten ergeben sich unterschiedliche Oberflächen. Deren Wechselwirkung mit dem Elektronenstrahl des REMs wird in der Aufnahme deutlich erkennbar (Halbrügge et al., 2022, S. 359 f.).

5.2.3.2 Emissionsspektrum der Elektrolumineszenz-Folie

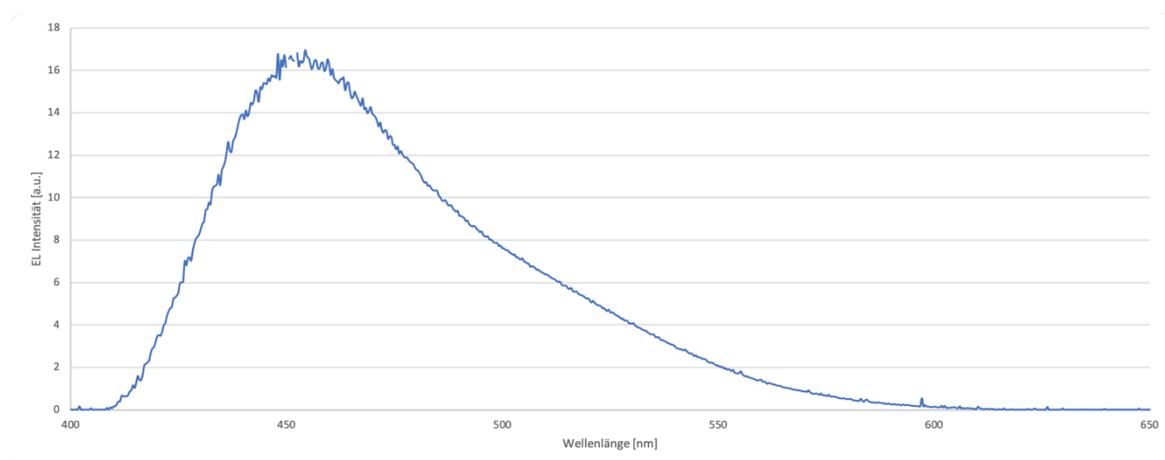


Abbildung 31: Emissionsspektrum der hands-on Elektrolumineszenz-Folie (Halbrügge et al., 2022, S. 360).

Ferner wurde ein Emissionsspektrum der hands-on Elektrolumineszenz-Folie aufgenommen (siehe Abbildung 31). Die Elektrolumineszenz-Folie emittiert blaues Licht mit einem Emissionsmaximum von circa 455 nm. Die Emissionsbande ist verhältnismäßig breit. Das deutet darauf hin, dass in der Halbleiterschicht zahlreiche verschiedene, strahlende Elektronenübergänge stattfinden. Das Spektrum bietet eine Grundlage für die Diskussion über die Dotierung des Wirtsgitters mit Kupfer und dessen Auswirkung auf die emittierte Wellenlänge. Außerdem kann auch der Einfluss anderer Dotierelemente auf das Emissionsspektrum diskutiert werden. Durch eine Dotierung mit Mangan würde das

Spektrum beispielsweise bathochrom verschoben und gelboranges Licht mit einem Emissionsmaximum von circa 580 nm würde emittiert. Auch ein Rückbezug auf das Energiestufenmodell (siehe Kapitel 5.2.1.1) wäre möglich. Die Auswirkungen der Mangandotierung auf die Verschiebung von Aktivator- und Co-Aktivator-Level könnten diskutiert werden (Halbrügge et al., 2022, S. 360).

6 Teilstudie II: Untersuchungen zur Wissenschaftskommunikation

Nachfolgend wird innerhalb der Teilstudie II die Entwicklung und die Evaluation von Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen im Graduiertenkolleg dargestellt. Dazu werden in einer Vorstudie grundlegende Annahmen evaluiert und Typen gebildet (siehe Abbildung 32). Um in der Hauptstudie möglichst heterogene Angebote zur Wissenschaftskommunikation erstellen zu können, wird unter anderem das in der Teilstudie I entwickelte Lehr-Lern-Experiment eingesetzt.

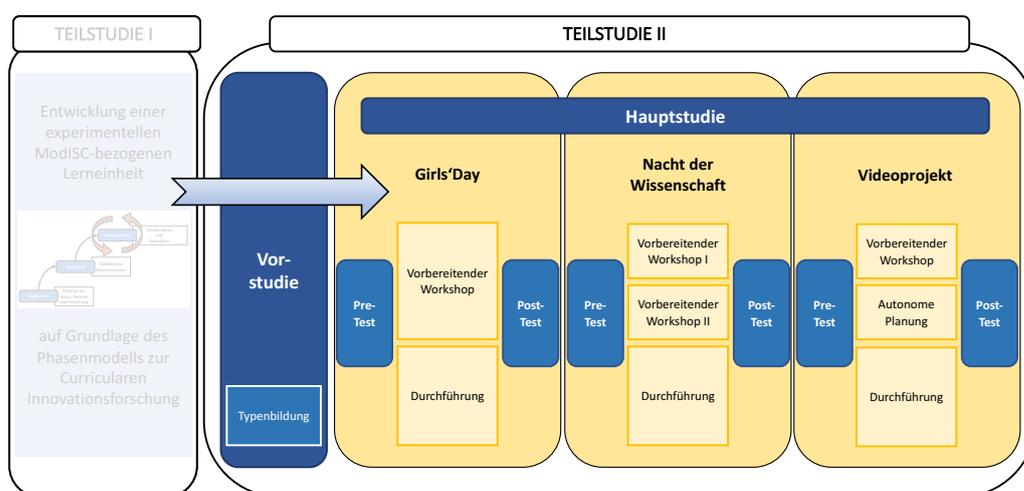


Abbildung 32: Teilstudie II in der Übersicht des Forschungsdesigns.

6.1 Vorstudie

Die Umsetzung eines Konzepts zur Wissenschaftskommunikation in Forschungsverbänden ist bis heute nicht etabliert. Derzeit befinden sich Forschungsverbände zwischen der Forderung nach Wissenschaftskommunikation und der gezielten, konzeptuellen Umsetzung. Das Konzept der Wissenschaftskommunikation wird auf sehr unterschiedlichen Wegen umgesetzt. Es existiert weder eine konkrete Vorgehensweise, noch ein konkretes Ziel. Ferner ist nicht klar, inwiefern diese Umsetzung von Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen Einfluss auf die Wissenschaftler der Forschungsverbände nimmt. Implizit werden seitens der Politik Ziele, wie beispielsweise die langfristige Annahme vom Konzept Wissenschaftskommunikation durch den Wissenschaftler als Teil seines Alltags (*Grundsatzpapier des Bundesministeriums für*

Bildung und Forschung zur Wissenschaftskommunikation, 2019) gesetzt, explizit gibt es jedoch keine Zielvorgaben.

JULIA GANTENBERG führte 2018 eine Studie mit dem Titel „Wissenschaftskommunikation in Forschungsverbänden“ (2018) durch. Sie untersuchte darin, wie Wissenschaftler in Forschungsverbänden das Konzept Wissenschaftskommunikation wahrnehmen und bewerten. In Kapitel 2.2.4.1 dieser Arbeit wird diese Studie grundlegend beschrieben.

6.1.1 Forschungsdesign

Um die Ergebnisse GANTENBERGS konstituierend nutzen zu können, wurde deren Übertragbarkeit auf die Stichprobe in der vorliegenden Studie im Rahmen einer Vorstudie untersucht. Für die Forderungen der DFG an Forschungsverbände hinsichtlich der Wissenschaftskommunikation konnten die Ergebnisse als gegeben hingenommen werden, da sich diese an alle Forschungsverbände gleichermaßen richten. Es wird nicht unterschieden zwischen Graduiertenkollegs und Sonderforschungsverbänden.

Ein großer Unterschied zwischen der Stichprobe GANTENBERGS und der in der vorliegenden Studie liegt allerdings in der akademischen Stufe der Beforschten. In der die vorliegende Studie betreffenden ersten Phase des Graduiertenkollegs waren, bis auf ein Postdoktorand, ausschließlich Doktoranden beteiligt. Diese standen am Anfang ihrer akademischen Karriere. Damit gingen einige neue Ansprüche und Erwartungen an die Doktoranden einher. Insbesondere wurden sie erstmalig tiefgründiger mit dem System Universität und dem Ablauf einer Promotion konfrontiert. Sie erlernten die Relevanz von Publikationen, Konferenzen und dem Austausch mit anderen Forschenden. Zudem stand ihnen die zentrale Aufgabe der Einfindung in ihr eigenes Promotionsthema bevor. Es ist anzunehmen, dass das Thema Wissenschaftskommunikation eine untergeordnete Rolle in der beginnenden Doktorandenlaufbahn eingenommen hat. Dort wo sich etablierte Wissenschaftler, wie die in GANTENBERGS Studie primär beforschten, bereits Vorstellungen von den zu kommunizierenden Inhalten im Bereich der Wissenschaftskommunikation machen können, fehlte es den am Anfang ihrer akademischen Laufbahn stehenden Doktoranden an diesem Fundament. Sie standen nicht nur vor der Aufgabe dieses Fundament für sich selbst zu schaffen, sondern zeitgleich auch

ihre Forschung zu kommunizieren, da diese Forderung an alle Forschungsverbände gerichtet wird.

Um im Rahmen der Hauptstudie der Teilstudie II der vorliegenden Arbeit ein Wissenschaftskommunikations-Konzept erstellen und dieses anschließend evaluieren zu können, wurden in der Vorstudie zunächst die zentralen Ergebnisse der Einschätzung der Wissenschaftler aus GANTENBERGS Studie herausgestellt. Diese wurden anschließend auf die Übertragbarkeit auf die Stichprobe dieser Arbeit untersucht. Aus der Vorstudie ging hervor, inwiefern die Doktoranden zu Beginn ihrer Promotion mit dem Konzept der Wissenschaftskommunikation vertraut sind. Daraus wurde das Spektrum des Handlungsbedarfs hinsichtlich der zu entwickelnden Maßnahmen abgeleitet. Ebenfalls wurde die Notwendigkeit der Schulung der Kommunikationskompetenzen der Doktoranden festgestellt. Dazu wurde erhoben, wie die Doktoranden ihre Fähigkeit zur Kommunikation sowohl fachlicher, als auch nicht fachlicher Inhalte einschätzen. Auf diese Weise wurde die Selbsteinschätzung der Doktoranden auf ihre allgemeinen Kommunikationsfähigkeiten überprüft. Die genannten Aspekte werden unter *itembezogene Auswertung* zusammengefasst. Im letzten Schritt wurden Wissenschaftskommunikationstypen aus den Ergebnissen der Vorstudie konstituiert, um sie anschließend mit den Ergebnissen der Hauptstudie in Relation zu setzen. Dieser Aspekt wird als *personenbezogene Auswertung* bezeichnet.

Die Ziele der Vorstudie waren es, die Forschungslücke zu präzisieren und Anforderungen an die in der Hauptstudie zu entwickelnden und zu evaluierenden Maßnahmen abzuleiten sowie Wissenschaftskommunikationstypen für die Auswertung der Hauptstudie zu bilden.

6.1.2 Forschungsmethodik

Die Vorstudie wurde auf Grundlage eines geschlossenen, elektronischen Fragebogens durchgeführt. Diese Methode ermöglicht es, subjektive Wahrnehmungen zu erfassen. Zudem ist die Administration unkompliziert. Die Doktoranden konnten den Fragebogen asynchron beantworten und es bedurfte keiner Terminfindung wie beispielsweise für ein Interview (Döring & Bortz, 2016, S. 398). Es wurde ein Fragebogen erstellt, der sowohl die Einschätzungen zum Thema Wissenschaftskommunikation, als auch zu den eigenen Kompetenzen abfragt (Schecker et al., 2014, S. 12) (siehe Anhang 8.3.1).

Dazu wurden alle relevanten Ergebnisse aus der Untersuchung GANTENBERGS in Form von Thesen abgeleitet. Aus den Thesen wurden anschließend Items formuliert. Auch für die Erhebung der beiden anderen Aspekte (Vertrautheit mit dem Konzept Wissenschaftskommunikation sowie Wahrnehmung der eigenen Kommunikationsfähigkeit) wurden Items formuliert. Die drei unterschiedlichen Aspekte wurden im Fragebogen in drei verschiedene Blöcke eingeteilt. Es wurde ein ratingskaliertes Instrument, eine vierstufige Likert-Skala, eingesetzt, um die Items durch die Doktoranden bewerten zu lassen (Tiemann & Körbs, 2014, S. 284 f.).

Um die Tendenz zur Mitte zu vermeiden, wurden vier Stufen gewählt. Diese reichten von 1 (strongly agree) über 2 (agree) und 3 (disagree) bis hin zu 4 (strongly disagree). Eine Tendenz zur Mitte ist dann wahrscheinlich, wenn die Probanden nicht ausreichend mit den zu bewertenden Inhalten vertraut sind (Döring & Bortz, 2016, S. 253). Es ist davon auszugehen, dass es sich für die Doktoranden um die erste Umfrage zum Thema Wissenschaftskommunikation handelt. Darüber hinaus haben vier Stufen nicht den Charakter einer überdifferenzierten Skala und bieten die Möglichkeit einer spontanen Aussage (Döring & Bortz, 2016, S. 249). Eine explizite Kategorie für Probanden, die keine Meinung zu einem Item haben, wurde ausgeschlossen, da die Doktoranden alle Items beantworten sollten, damit eine möglichst detaillierte Aussage über die Probandengruppe gemacht werden konnte. Die Doktoranden sollen gezwungen werden, sich zu allen Items zu äußern und sollen nicht die Möglichkeit haben, dem Antworten auszuweichen (Döring & Bortz, 2016, S. 249). Die Anzahl der Stufen variierte in allen drei Blöcken des Fragebogens nicht, um ein häufiges Umdenken der Respondenten auszuschließen und auf diese Weise die Einfachheit des Beantwortens zu unterstützen (Döring & Bortz, 2016, S. 407). Durch das Erstellen eines persönlichen Codes wurden die Antworten mit denen zukünftiger Fragebögen vergleichbar, während die Probanden anonym blieben. Um darüber hinaus nähere Informationen über die Stichprobe zu erhalten, wurden relevante soziodemografische Daten erhoben (Döring & Bortz, 2016, S. 265). Da sich alle Studienteilnehmer in einer sehr ähnlichen Situation, am Beginn ihrer Promotionszeit, befanden, wurde nach der Institutszugehörigkeit sowie nach den Tätigkeiten zwischen Schulabschluss und Beginn des Studiums gefragt. Von besonderer Relevanz für die Vorstudie war, dass die Studienteilnehmer alle Doktoranden im Graduiertenkolleg ModISC sind und innerhalb des Graduiertenkollegs noch keine Berührungspunkte zur Wissenschaftskommunikation hatten. Das wurde dadurch sichergestellt, dass alle Doktoranden gemeinsam mit Beginn der Förderung des Graduiertenkollegs in dasselbe

eingestiegen sind. Die Berührungspunkte zur Wissenschaftskommunikation oblagen graduiertenkollegintern der Autorin. Bis zum Zeitpunkt der Vorstudie waren noch keine ermöglicht worden. Die vor Eintritt in das Graduiertenkolleg gemachten Erfahrungen wurden erfragt, indem ein spezifisches Item in den ersten Block der Fragen integriert wurde (Item 1A).

Im Anschluss an die Erstellung des Fragebogens wurde dieser zu einer Pilotierung vor dem Hintergrund eines qualitativen Pre-Tests (Döring & Bortz, 2016, S. 411) in die Physikalische Chemie der Universität zu Köln gegeben. Dort wurde der Fragebogen von zwei Doktoranden, die ebenfalls am Beginn ihrer Promotion standen, ausgefüllt, evaluiert und diskutiert. Die pilotierenden Doktoranden waren nicht Teil des GRKs ModISC. Anschließend wurde der Fragebogen auf dieser Grundlage überarbeitet. Final wurde der Fragebogen ins Englische übersetzt, da es sich um ein internationales Graduiertenkolleg handelt¹³. Ferner wurde er in das Online-Fragebogen-Tool *Lime Survey* überführt. Online-Befragungen sind sehr effizient und sowohl das Management der Befragung als auch die Sichtung der Auswertung werden vereinfacht (Döring & Bortz, 2016, S. 414).

Die Ergebnisse der quantitativen Vorstudie wurden deskriptiv in Form von Graphen zusammengefasst. Anschließend wurden sie sowohl item- als auch personenbezogen ausgewertet. An der Befragung nahmen insgesamt 15 Doktoranden teil ($N = 15$).

6.1.3 Konzeption des Fragebogens

Der Fragebogen setzte sich aus drei verschiedenen Blöcken zusammen. Im ersten Block wurden Items konzipiert, die erfassen sollten, inwiefern die Doktoranden zu Beginn ihrer Promotion mit dem Konzept Wissenschaftskommunikation vertraut sind. Für den dritten Block wurden Items erstellt, die die Selbsteinschätzung der Doktoranden hinsichtlich genereller Kommunikation erfassten.

Nachfolgend wurden für die Konzeption des zweiten Blocks *Einstellung zur Wissenschaftskommunikation* Thesen aus den Ergebnissen GANTENBERGS abgeleitet, die anschließend operationalisiert und im Fragebogen in Form von Items abgefragt wurden. Je These wurden im Hinblick auf die Reliabilität zwei Items parallel formuliert (Döring & Bortz, 2016, S. 407).

¹³ Für die vorliegende Arbeit wurden alle Items zur besseren Lesbarkeit aus dem Englischen zurück in die deutsche Sprache übersetzt.

- T1 Die Wissenschaftler¹⁴ finden Wissenschaftskommunikation wichtig, um einen gesamtgesellschaftlichen Fortschritt zu sichern (Gantenberg, 2018, S. 140). (GESEFORT)
- T2 Die Wissenschaftler halten es für möglich, dass die Kommunikation von wissenschaftlichen Ergebnissen Einfluss auf die politische Meinungsbildung nehmen kann (Gantenberg, 2018, S. 145). (POLMEINUNG)
- T3 Die Wissenschaftler halten es für die Pflicht von Forschenden, ihre Ergebnisse der Öffentlichkeit mitzuteilen, da sie einen privilegierten Zugang zur Wissenschaft haben (Gantenberg, 2018, S. 5). (PRIVILEG)
- T4 Die Wissenschaftler denken, dass Forschende ihre Forschung kommunizieren sollten, da diese von Steuergeldern finanziert wird (Gantenberg, 2018, S. 75, 139 f., 178, 193 f.). (STEUERG)
- T5 Die Wissenschaftler halten es für vorteilhaft, externe Wissenschaftskommunikation zu praktizieren, wenn ihre Leistung innerwissenschaftlich anerkannt ist (Gantenberg, 2018, S. 51). (VORTANER)
- T6 Die Wissenschaftler halten es für sinnvoll, dass Wissenschaftskommunikation im Forschungsverbund von jemandem mit Kommunikationsexpertise angeleitet und organisiert wird (Gantenberg, 2018, S. 136). (WIKOEXP)
- T7 Die Wissenschaftler hätten sich Kurse zum Oberthema Wissenschaftskommunikation bereits während ihrer frühen akademischen Ausbildung gewünscht (Gantenberg, 2018, S. 201, 258). (AKADAUSB)
- T8 Die Wissenschaftler wünschen sich Angebote zur Fort- und Weiterbildung im Bereich der Wissenschaftskommunikation, die an der Universität angeboten werden (Gantenberg, 2018, S. 201 f.). (ANGEBUNI)
- T9 Die Wissenschaftler würden sich gern vertieft mit Öffentlichkeitsarbeit auseinandersetzen, es bleibt ihnen jedoch nicht ausreichend Zeit während der Promotion (Gantenberg, 2018, S. 77, 119, 229 f.). (ZEIT)

¹⁴ Mit Wissenschaftlern sind nachfolgend explizit solche in Forschungsverbänden gemeint.

T10 Die Wissenschaftler wissen nicht, wie an das Thema Wissenschaftskommunikation heranzugehen ist (Gantenberg, 2018, S. 162).
(INTRANSP)

Jede der Thesen wurde mit einem Code (farbige Majuskeln) versehen, um diese im Fragebogen den zwei zugehörigen Items zuordnen zu können. Ziel der Erstellung zweier paralleler Items ist die präzisere Erfassung der jeweiligen Einstellung der Doktoranden zu den aus GANTENBERGS Studie abgeleiteten Thesen. Darüber hinaus wurden einige Thesen, die die Person der Doktoranden betreffen könnten, wie zum Beispiel T6, als Item explizit in der ersten Person Singular formuliert, um die doktorandenzentrierte Darstellung zu fokussieren. Thesen wie beispielsweise T4 wurden in den Items allgemein formuliert.

In den Blöcken eins und drei wurden im Sinne des Aufwandes für die Respondenten jeweils Einzelitems formuliert (Döring & Bortz, 2016, S. 407). Eine präzise Erfassung der Einstellung der Respondenten ist aufgrund der geringeren Komplexität der Items wahrscheinlich.

Für den Fragebogen wurden die folgenden drei Blöcke konzipiert:

(1) Vertrautheit mit dem Konzept Wissenschaftskommunikation

	Item
1 A	Ich wusste bereits während meines Studiums, was Wissenschaftskommunikation ist.
1 B	Ich wusste bereits während meines Studiums, dass es Forschung im Bereich Wissenschaftskommunikation gibt.
1 C	Vor meinem Eintritt in das GRK wusste ich, dass es einen Projektbereich <i>Science Communication and Outreach</i> geben wird.

(2) Einstellung zur Wissenschaftskommunikation

	Item
2 A1	Wissenschaftskommunikation ist relevant, um einen dauerhaften gesamtgesellschaftlichen Fortschritt sicherzustellen. (GESEFORT)
2 B1	Wissenschaftler können durch die Kommunikation ihrer Forschung politische Meinungsbildung betreiben. (POLMEINUNG)
2 C1	Wissenschaftler haben die Pflicht Forschung an die Öffentlichkeit zu kommunizieren, weil sie einen privilegierten Zugang zu Informationen haben. (PRIVILEG)
2 D1	Wissenschaftler sollten ihre Forschung an die Öffentlichkeit kommunizieren, weil Forschung aus Steuergeldern finanziert wird. (STEUERG)
2 E1	Wenn meine Leistung bereits in der Wissenschaft anerkannt ist, bringt die Kommunikation meines Themas in der Öffentlichkeit mir weitere Vorteile. (VORTANER)
2 F1	Wenn ich im Bereich Wissenschaftskommunikation Unterstützung von einem Experten erhalten würde, würde ich gern mehr in dem Bereich machen. (WIKOEXP)
2 G1	Wenn ich im Studium schon Kurse zum Thema Wissenschaftskommunikation gehabt hätte, wäre ich sehr glücklich darüber gewesen. (AKADAUSB)
2 H1	Angebote zur Weiterbildung im Bereich Wissenschaftskommunikation seitens der Uni würden mich ermutigen, mich mehr mit dem Thema zu beschäftigen. (ANGEBUNI)
2 I1	Wenn ich mehr Zeit für andere Dinge während meiner Promotion hätte, würde ich das Thema meines PhDs/ ein Subthema gern vereinfacht an die Öffentlichkeit kommunizieren. (ZEIT)
2 J1	Der Bereich Wissenschaftskommunikation ist sehr intransparent. (INTRANSP)

2 E2	Mein PhD-Thema in der Öffentlichkeit zu kommunizieren ist vorteilhaft für mich, wenn ich vorher schon für meine Leistung in der Wissenschaft anerkannt wurde. (VORTANER)
2 B2	Wenn Wissenschaftler ihre Forschung an die Öffentlichkeit kommunizieren, können sie damit die politische Meinung der Menschen beeinflussen. (POLMEINUNG)
2 A2	Wenn es mehr Forscher gäbe, die Ihre Forschung gesamtgesellschaftlich zugänglich machen würden, würde die Gesellschaft davon profitieren. (GESEFORT)
2 C2	Durch ihre Arbeit haben Wissenschaftler einen anderen Zugang zu Wissen, als die Öffentlichkeit. Daher sollten sie das, was sie tun, mit der Öffentlichkeit teilen. (PRIVILEG)
2 D2	Weil auch alle wissenschaftsexternen Menschen durch das Zahlen von Steuern Geld in die Forschung investieren, sollten sie auch von den Forschungsergebnissen erfahren. (STEUERG)
2 G2	Ich hätte mich gefreut, wenn im Studium schon Kurse zur Wissenschaftskommunikation angeboten worden wären. (AKADAUSB)
2 H2	Ich hätte mehr Interesse daran mich mit der Wissenschaftskommunikation zu beschäftigen, wenn die Uni dazu ein größeres Angebot an Weiterbildungsmöglichkeiten hätte. (ANGEBUNI)
2 I2	Ich hätte Lust darauf mein eigenes Thema an die Öffentlichkeit zu kommunizieren, wenn ein Teil meiner PhD-Zeit für andere Dinge als die Forschung übrig wäre. (ZEIT)
2 J2	Es ist nachvollziehbar, wie Wissenschaftskommunikation funktioniert. (INTRANSP)
2 F2	Im Bereich der Wissenschaftskommunikation würde ich gern mehr machen, wenn ich dafür mehr Unterstützung von Experten bekäme. (WIKOEXP)

(3) Wahrnehmung der eigenen Kommunikationsfähigkeit

	Item
3 A	Ich kann sehr gut erklären.
3 B	Ich fühle mich sicher, wenn ich einen Vortrag halte.
3 C	Ich fühle mich sicher, wenn ich anderen von meinem PhD-Thema erzähle.
3 D	Ich weiß, wie ich mein PhD-Thema auf einfachem Weg für Laien zusammenfassen kann.

6.1.4 Auswertung

Aus Platzgründen sind die Ergebnisse der Vorstudie im Anhang einzusehen (siehe Anhang 8.1). Nachfolgend wird die Ergebnisdiskussion der Vorstudie ausgewertet. Es werden zunächst die Einstellung der Doktoranden des Graduiertenkollegs zur Wissenschaftskommunikation sowie die Anforderungen an perspektivische Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen dargestellt. Anschließend werden aus Ergebnissen (siehe Anhang 8.3.2) in Anlehnung an KELLE UND KLUGE Typen gebildet (2010, S. 91 ff.).

6.1.4.1 Einstellung und Anforderungen

Die Ergebnisse des ersten Items-Blocks des Fragebogens zeigt deutlich, dass Wissenschaftskommunikation als Konzept bei den Doktoranden zu Beginn ihrer Promotion im Graduiertenkolleg und während ihres Studiums nicht im Bewusstsein verankert war. Für die Entwicklung von Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen wird daraus geschlossen, dass das Konzept Wissenschaftskommunikation von Grund auf erläutert werden muss. Es muss zunächst ein Bewusstsein für die Existenz von Öffentlichkeitsarbeit im Forschungskontext geschaffen werden. Das bedeutet, dass Maßnahmen nicht ohne Kontextualisierung entwickelt werden können. Vielmehr muss vor der Entwicklung der Maßnahmen ein Überblick über den Nutzen von Wissenschaftskommunikation ebenso wie

über die Möglichkeiten gegeben werden. Wichtig ist ferner die Darstellung der Rolle der eigenen Person im Kontext von Wissenschaftskommunikation.

Im dritten Item-Block der Vorstudie wird deutlich, an welchen Stellen es Handlungsbedarf im Hinblick auf die Selbsteinschätzung zur Kommunikation gibt. Die Doktoranden stimmen einer guten Fähigkeit zu erklären überwiegend zu. Dennoch fällt die Zustimmung für die Sicherheit beim Halten von Vorträgen in Relation gering aus. Das ist auffällig, da sich die Doktoranden am Beginn ihres Promotionsstudiums befinden und bereits ein Bachelor- und ein Masterstudium absolviert haben. Überdurchschnittlich stimmen die Doktoranden zu, sich sicher zu fühlen, wenn sie über ihr Promotionsthema sprechen. Das suggeriert auf den ersten Blick eine gute Selbstwirksamkeitserwartung im Hinblick auf die eigenen Wissenschaftskommunikationskompetenzen. Es fühlen sich jedoch überdurchschnittlich wenige Doktoranden sicher, wenn sie ihr Promotionsthema für die Laien-Öffentlichkeit zusammenfassen sollen. Das verdeutlicht den Bedarf an Fördermaßnahmen. Retrospektiv kann das Ergebnis in Bezug auf die Laien-Öffentlichkeit auch aus der Situation resultieren, in der die Doktoranden den Fragebogen ausgefüllt haben. Sie standen am Beginn ihrer Promotion und konnten noch keine konkreten Aussagen zu den Inhalten ihres Promotionsthemas machen, weshalb sie sich auch nicht sicher im verständlichen Zusammenfassen des Themas fühlten. Die Sicherheit in Bezug auf das Erklären des Promotionsthemas kann auch als Sicherheit hinsichtlich des Erläuterns des Promotionsvorhabens ausgelegt worden sein und weniger auf die realen Inhalte. Für die Entwicklung der Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen sind die Ergebnisse dieses Blocks primär positiv zu werten, da sich keiner der Doktoranden gänzlich unsicher beim Erklären fühlt. Darüber hinaus ist die in Relation sehr große Sicherheit in Bezug auf die Kommunikation des eigenen Promotionsprojektes eine gute Ausgangslage für das Konzept Wissenschaftskommunikation. Dennoch wurde der Bedarf im Hinblick auf das gezielte Aufbereiten des eigenen Themas für die allgemeine Öffentlichkeit identifiziert.

Aus dem zweiten Item-Block, der die Einstellung von Wissenschaftlern aus anderen Forschungsverbänden auf die Übertragbarkeit auf die Wissenschaftler der vorliegenden Studie überprüft, geht hervor, dass allen Thesen zusammengefasst zu 60 % zugestimmt wurde. Es kann nicht von einer vollständigen Übertragbarkeit der Ergebnisse GANTENBERGS auf die Doktoranden des Graduiertenkollegs ModISC ausgegangen werden. Aus den ermittelten Daten lassen sich jedoch relevante Aspekte für die Planung von Maßnahmen zur Wissenschaftskommunikation ableiten. Die beiden Thesen mit der höchsten Zustimmung waren die, die die extrinsische Motivation der Wissenschaftler zur

Öffentlichkeitsarbeit beschreiben. Den Doktoranden ist bewusst, dass Wissenschaftler in der Pflicht stehen ihre Forschung zu kommunizieren, da sie zum einen zum gesamtgesellschaftlichen Fortschritt beitragen (T1: 96 %) und zum anderen Einfluss auf die politische Meinungsbildung nehmen können (T2: 86%). Die beiden Thesen, die eine begründete Verpflichtung zur Wissenschaftskommunikation aufgrund der Finanzierung durch Steuergelder und dem privilegierten Zugang zu Information darlegen, werden hingegen nicht stark bejaht. Lediglich rund 60 % stimmen den beiden Thesen (T3 und T4) zu. Erkennbar ist, dass es bei der Mehrheit der Doktoranden ein Bewusstsein für die Wirkung von Wissenschaftskommunikation auf die Öffentlichkeit gibt. Das impliziert, dass sich die Doktoranden darüber im Klaren sind, dass Wissenschaftler durch die Kommunikation ihrer Forschung etwas in der Gesellschaft bewegen können. Zugleich sehen sich nicht alle Doktoranden zur Wissenschaftskommunikation verpflichtet.

Die Meinung, dass externe Wissenschaftskommunikation die Anerkennung der Wissenschaftler steigert, vertreten nur etwa die Hälfte der Doktoranden (T5: 53%). Im Hinblick auf diese These ist der Unterschied der akademischen Stufen zwischen der Stichprobe, auf der die Thesen beruhen, und der, auf die sie übertragen werden, sehr relevant. Die befragten Doktoranden stehen am Beginn ihrer akademischen Karriere. Sie haben noch keine weitreichende Erfahrung mit innerwissenschaftlicher Anerkennung, wie diejenigen, die bereits als Postdoktoranden oder Professoren in einem Forschungsverbund mitwirken. Die Doktoranden konnten nur vermuten, inwiefern sich hypothetische innerwissenschaftliche Anerkennung durch erfolgreiche Öffentlichkeitsarbeit beeinflussen lässt. Aus diesem Grund wird dieser Aspekt für die Planung der Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen in einem am Beginn der Förderzeit stehenden Forschungsverbund nicht berücksichtigt. Ein ähnlicher Grad an Zustimmung wurde bei der Frage nach dem Wunsch von bereits im Studium implementierten Kursen zum Thema Wissenschaftskommunikation festgestellt (T7: 57 %). Daraus geht die Vermutung hervor, dass Wissenschaftskommunikation für die Doktoranden bisher keine große Rolle gespielt hat und sie sich diese auch nicht verstärkt gewünscht hätten. Auch hier kann die differenzierte akademische Stufe der Doktoranden angeführt werden. Die Postdoktoranden und Professoren sind schon länger mit dem Konzept Wissenschaftskommunikation und der multilateralen Forderung nach demselben vertraut. Es ist anzunehmen, dass sie sich im Verlauf ihrer akademischen Karriere verstärkt damit auseinandersetzen mussten und basierend auf diesen Erfahrungen angeben, dass sie sich eine frühe Konfrontation mit dem Thema gewünscht hätten. Da dieser Aspekt jedoch auch im 10-Punkte-Plan der Allianz im

Jahr 2020 manifestiert wurde (siehe Kapitel 2.2.2), wird in naher Zukunft eine stärkere Förderung des Themas Wissenschaftskommunikation in den frühen akademischen Werdegang integriert werden. An das Ergebnis dieser These zu den vorausgegangenen Kursen im Studium schließt sich die These nach dem Wunsch eines aktuellen Angebotes zu Fort- und Weiterbildungen an der Universität sukzessive an. Dieser These (T8) stimmen lediglich 36 % der Doktoranden zu. Es ist davon auszugehen, dass die Doktoranden zu wenig mit dem Konzept der Wissenschaftskommunikation und dessen perspektivischer beruflicher Relevanz vertraut sind. Zudem können sie die Gewichtung des großen Themas Wissenschaftskommunikation für das Graduiertenkolleg noch nicht einschätzen. Dieser Annahme widerspricht das Ergebnis der These (T10), dass die Herangehensweise an das Thema Wissenschaftskommunikation unklar ist. Dieser These stimmen nur knapp die Hälfte der Doktoranden (46 %) zu. Auch den Ergebnissen aus dem ersten Block der Erhebung widerspricht dieses Ergebnis. Dort wurde angegeben, dass etwa 86 % noch während ihres Studiums nicht wussten, was Wissenschaftskommunikation ist. Es ist unwahrscheinlich, dass sich diese Kenntnis zwischen Abschluss des Masterstudiums und Beginn der Promotion maßgeblich verändert hat. Vermuten lässt sich auf Basis dieser konträren Ergebnisse, dass die Doktoranden während ihrer Zeit im Graduiertenkolleg von einer Anleitung zum Thema Wissenschaftskommunikation ausgehen. Diese Hypothese wird gleichermaßen von der These (T6) gestützt, die den Wunsch der Doktoranden nach einer Anleitung und Organisation durch einen Experten beim Thema Wissenschaftskommunikation im Graduiertenkolleg formuliert. Dieser These stimmen 60 % der Doktoranden zu. Für die Planung der Maßnahmen wird daraus abgeleitet, dass die Unterstützung durch Externe auch den Doktoranden sinnvoll erscheint. Es muss ein transparentes Konzept formuliert werden, welches eine Anleitung durch Externe ermöglicht. Die durch die Ergebnisse GANTENBERGS am stärksten gestützte These (T9), dass die Doktoranden sich gerne vermehrt im Bereich Wissenschaftskommunikation engagieren würden, wenn ihnen während ihrer Promotion mehr Zeit dafür bliebe, wird lediglich von 40 % der Doktoranden bejaht. Das kann unterschiedliche Gründe haben. So ist es möglich, dass den Doktoranden der eventuelle Zeitmangel für andere Projekte neben ihrem Promotionsprojekt zu Beginn ihrer Promotionszeit noch nicht bewusst ist. Darüber hinaus ist es nicht unwahrscheinlich, dass die Doktoranden die übrige Zeit nicht primär in die Umsetzung von Wissenschaftskommunikation investieren möchten. Basierend auf dem vorherigen Ergebnis, dass sie sich keine Fort- und Weiterbildungsangebote zur Wissenschaftskommunikation wünschen würden, erscheint auch diese Annahme logisch

konsequent. Beide hypothetischen Aspekte bedeuten für die Planung der Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen insbesondere, dass der zeitliche Rahmen für die Angebote nicht zwangsläufig stark begrenzt werden muss. Zunächst wird davon ausgegangen, dass sich die Doktoranden für die nicht obligatorischen Angebote zur Wissenschaftskommunikation dann melden, wenn ihnen neben ihrem Promotionsprojekt noch Zeit dafür zur Verfügung steht.

6.1.4.2 Formulieren von Wissenschaftskommunikationstypen

Die Ergebnisdiskussion (siehe Anhang 8.1) wird ferner als Grundlage für die Bildung von Wissenschaftskommunikationstypen verwendet. Nach KELLE UND KLUGE werden diese nachfolgend in vier Teilschritten entwickelt: (1) Erarbeitung relevanter Vergleichsdimensionen, (2) Gruppierung der Fälle und Analyse empirischer Regelmäßigkeiten, (3) Analyse inhaltlicher Sinnzusammenhänge und (4) Charakterisierung der gebildeten Typen (2010, S. 91 f.).

In der Regel werden bei KELLE UND KLUGE sowie auch bei KUCKARTZ & RÄDIKER (2022) zunächst rein qualitative Daten ausgewertet. Anschließend werden die Typen aus den vorliegenden Ergebnissen abgeleitet.

(1) Erarbeitung relevanter Vergleichsdimensionen

Da in der Vorstudie quantitative Daten erhoben wurden, wurden die Blöcke (2) *Einstellung zur Wissenschaftskommunikation* und (3) *Wahrnehmung der eigenen Kommunikationsfähigkeit* des Fragebogens (siehe Kapitel 6.1.3) deduktiv für eine erste Identifikation konkreter Vergleichsdimensionen genutzt. Die Fälle, die anschließend einer Merkmalskombination zugeordnet werden, sollen untereinander möglichst ähnlich und somit auf Typenebene *maximal intern homogen* sein. Die Merkmalskombinationen selbst sollen möglichst verschieden und somit auf Typologieebene *maximal extern heterogen* (Kelle & Kluge, 2010, S. 93) sein.

Die Ergebnisse des Blocks (3) des Fragebogens (siehe Anhang 8.1, 8.3.2) wurden a priori als für die Bildung von Typen im Hinblick auf deren perspektivische Entwicklung der Wissenschaftskommunikationskompetenz primär relevant identifiziert.

Es wurden die vier Antwortstufen für alle vier Items des Blocks zusammengefasst zu zwei Antwortstufen (Zustimmung und Ablehnung). Anschließend wurden aus dem Grad der Zustimmung und dessen Auftretenshäufigkeit drei relevante Kategorien in Bezug auf die Beantwortung der Items aus Block (3) erstellt: überwiegend Zustimmung zur Kommunikationsfähigkeit (ZK), überwiegend Ablehnung der Kommunikationsfähigkeit (AK), keine Tendenz bei der Selbsteinschätzung der Kommunikationsfähigkeit (KK). Jeder Doktorand wurde durch die Nennung der beiden ersten Buchstaben des im Fragebogen anonym erstellten Codes der jeweils zutreffenden Subkategorie zugeordnet (siehe Abbildung 33).

Anschließend wurden drei weitere Kategorien gebildet, indem mit den Antwortstufen der zehn Items aus Block (2) analog verfahren wurde. Es wurde die überwiegende Tendenz der Antwortstufen im Hinblick auf eine positive Bewertung vom Konstrukt Wissenschaftskommunikation festgestellt: überwiegend Zustimmung zur positiven Einstellung zur Wissenschaftskommunikation (ZW) (siehe Abbildung 33, grüner Punkt), überwiegend Ablehnung der positiven Einstellung zur Wissenschaftskommunikation (AW) (Abbildung 33, oranger Punkt) sowie keine Tendenz hinsichtlich der positiven Einstellung zur Wissenschaftskommunikation (KW) (siehe Abbildung 33, violetter Punkt). Diese Subkategorien wurden den in den Subkategorien befindlichen Codes der Doktoranden zugeordnet (siehe Abbildung 33). Das Bilden von Subkategorien im Rahmen der Dimensionalisierung erfolgte nicht, da mit rein quantitativem Material gearbeitet wurde und die Kategorien nicht weiter beschrieben wurden.

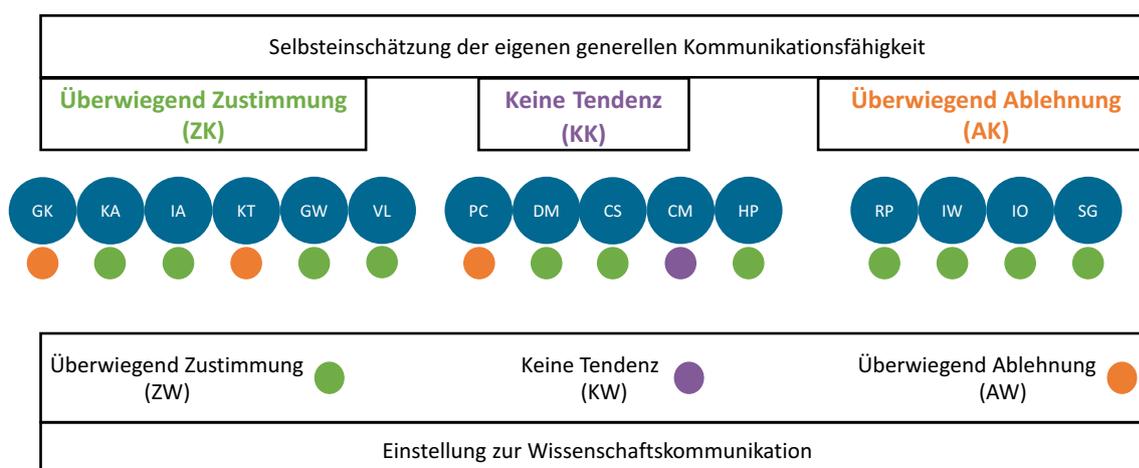


Abbildung 33: Relevante Vergleichsdimensionen zur Bildung von Wissenschaftskommunikationstypen.

(2) Gruppierung der Fälle und Analyse empirischer Regelmäßigkeiten

Durch das strukturierte Vorgehen des Bildens von Kategorien und das direkte Vernetzen beider Kategorien miteinander können die einzelnen Fälle gruppiert und Merkmalsräume konstruiert werden, indem die verschiedenen Merkmale sinnvoll kombiniert werden (Fleiß, 2010, S. 4 ff.; P. F. Lazarsfeld, 1937, S. 119 ff.).

Durch das Konzept des Merkmalsraums (P. Lazarsfeld & Barton, 1951, S. 180) ist es möglich eine Übersicht über alle Optionen der Kombinationen der Kategorien zu erhalten.

Den ersten Merkmalsraum bildet die Kategorie *Überwiegend Ablehnung der Kommunikationsfähigkeit (AK)* und die Kategorie *Überwiegend Zustimmung zur positiven Einstellung zur Wissenschaftskommunikation (ZW)*.

Den zweiten Merkmalsraum bildet die Kategorie *Überwiegend Zustimmung zur Kommunikationsfähigkeit (ZK)* und die Kategorie *Überwiegend Zustimmung zur positiven Einstellung zur Wissenschaftskommunikation (ZW)*.

Den dritten Merkmalsraum bildet die Kategorie *Keine Tendenz bei der Selbsteinschätzung der Kommunikationsfähigkeit (KK)* und die Kategorie *Überwiegend Zustimmung zur positiven Einstellung zur Wissenschaftskommunikation (ZW)*.

Keinem Merkmalsraum zugeordnet wurden die Kombinationen der Kategorie *Überwiegend Zustimmung zur Kommunikationsfähigkeit (ZK)* mit der Kategorie *Überwiegend Ablehnung der positiven Einstellung zur Wissenschaftskommunikation (AW)* sowie der Kategorie *Keine Tendenz bei der Selbsteinschätzung der Kommunikationsfähigkeit (KK)* mit der Kategorie *Keine Tendenz bei der positiven Einstellung zur Wissenschaftskommunikation (KW)* respektive der Kategorie *Überwiegend Ablehnung der positiven Einstellung zur Wissenschaftskommunikation (AW)*.

Die letztgenannten drei Kategorienkombinationen werden zunächst zu einem Merkmalsraum subsumiert.

Alle anderen Merkmalsräume sind auf natürliche Art und Weise generiert worden, da die Antwortkombinationen der Doktoranden in der quantitativen Befragung in diesen Kombinationen am häufigsten auftraten.

(3) Analyse inhaltlicher Sinnzusammenhänge

Der erste Merkmalsraum (AK/ZW) ist sinnvoll als ein Typus zusammenzufassen. Die Doktoranden, die diesem Typus zugehörig sind, schätzen ihre Kommunikationsfähigkeit überwiegend schlecht ein, sind aber der Wissenschaftskommunikation gegenüber überwiegend positiv eingestellt.

Es ist ebenfalls sinnvoll den zweiten Merkmalsraum (ZK/ZW) als einen Typus zusammenzufassen. Die Doktoranden, die diesem Typus zugeordnet werden können, schätzen ihre Kommunikationsfähigkeit überwiegend gut ein und sind gleichermaßen der Wissenschaftskommunikation gegenüber überwiegend positiv eingestellt.

Auch der dritte Merkmalsraum (KK/ZW) ist sinnvoll als ein Typus zusammenzufassen. Die zugeordneten Doktoranden haben keine Tendenz im Hinblick auf ihre Kommunikationsfähigkeit, sind jedoch der Wissenschaftskommunikation gegenüber überwiegend positiv eingestellt.

Der vierte Merkmalsraum (ZK/AW, KK/KW, KK/AW) umfasst verschiedene Möglichkeiten: der eigenen Kommunikationsfähigkeit überwiegend zuzustimmen und Wissenschaftskommunikation gleichzeitig überwiegend nicht positiv gegenüber eingestellt zu sein, sowie keine eindeutige Tendenz hinsichtlich der eigenen Kommunikationsfähigkeit zu haben, und gleichzeitig entweder auch keine Tendenz bei der Bewertung von Wissenschaftskommunikation zu haben, oder derselben überwiegend ablehnend gegenüber zu stehen. Auch dieser Merkmalsraum kann als ein Typus zusammengefasst werden, da die Merkmale einander insgesamt ähnlicher sind als in Kombination mit den anderen Merkmalen (Büschges, 1989, S. 249). Doktoranden, die diesem Typus zugeordnet werden können, sind ihren eigenen Kommunikationsfähigkeiten neutral bis positiv gegenüber eingestellt, während sie eine eher negative Einstellung zur Wissenschaftskommunikation haben.

(4) Charakterisierung der gebildeten Typen

Es wurden vier Wissenschaftskommunikationstypen gebildet, die nachfolgend tabellarisch zusammengefasst werden (siehe Tabelle 4). Anschließend werden die Doktoranden den Typen zugeordnet.

Tabelle 4: Übersicht der Wissenschaftskommunikationstypen.

Merkmalsraum	Wissenschaftskommunikationstypus-Bezeichnung	Charakterisierung	Doktoranden
(AK/ZW)	Der Lernbereite	Der Lernbereite schätzt seine Kommunikationsfähigkeiten tendenziell schlecht ein. Gleichzeitig bewertet er das Konstrukt Wissenschaftskommunikation überwiegend positiv. Er wird als Lernbereiter bezeichnet, weil er Wissenschaftskommunikation zwar positiv bewertet, sich selbst jedoch nicht als fähig zur Kommunikation einschätzt. Das lässt auf eine Lernbereitschaft im Bereich Wissenschaftskommunikation schließen.	RP IW IO SG
(ZK/ZW)	Der Überzeugte	Der Überzeugte schätzt seine Kommunikationsfähigkeiten tendenziell gut ein und bewertet das Konstrukt Wissenschaftskommunikation überwiegend positiv. Er wird als Überzeugter bezeichnet, weil er sowohl von seinen eigenen Fähigkeiten zu kommunizieren als auch von der Wissenschaftskommunikation per se überzeugt ist.	KA IA GW VL
(KK/ZW)	Der Befürworter	Der Befürworter bewertet das Konstrukt Wissenschaftskommunikation überwiegend positiv. Die eigenen Kommunikationsfähigkeiten schätzt er weder positiv noch negativ ein. Er wird als Befürworter bezeichnet, weil er dem Konstrukt Wissenschaftskommunikation als solches positiv gegenüber eingestellt ist. Die Bezeichnung recurriert allein auf die Einschätzung der Wissenschaftskommunikation, nicht auf die der eigenen Fähigkeiten.	DM CS HP
(ZK/AW, KK/KW, KK/AW)	Der Kritiker	Der Kritiker bewertet das Konstrukt Wissenschaftskommunikation überwiegend negativ. Die eigenen Kommunikationsfähigkeiten schätzt er tendenziell positiv ein. Er wird als Kritiker bezeichnet, weil er das Konstrukt Wissenschaftskommunikation primär negativ einschätzt. Die Bezeichnung recurriert allein auf die Einschätzung der Wissenschaftskommunikation, nicht auf die der eigenen Fähigkeiten.	GK KT PC CM

6.2 Hauptstudie

Auf Grundlage literaturbekannter Methoden, die voneinander abgegrenzt und in Relation zu den im Graduiertenkolleg disponiblen Bedingungen gesetzt wurden, wurde eine Forschungsmethode für die Hauptstudie entwickelt.

In der Vorstudie wurden sowohl die Anforderungen an die Maßnahmen zur Wissenschaftskommunikation als auch die Einstellungen der Doktoranden derselben gegenüber überprüft, um die Ergebnisse anschließend als grundlegend für ein Konzept anzunehmen, was erstellt und evaluiert werden sollte.

Darüber hinaus wurden Wissenschaftskommunikationstypen gebildet, um diese im Kontext der Auswertung der Hauptstudie zu nutzen.

Die Anforderungen an die Maßnahmen werden nachfolgend zusammenfassend dargestellt. Im Anschluss daran wird erläutert, inwiefern Wissenschaftskommunikation in Forschungsverbänden von außen limitiert wird. Dazu werden wesentliche Aspekte zusammengefasst, die im Rahmen des 10-Punkte-Plans der Allianz als Grundlagen für die Kommunikation zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit erläutert wurden (siehe Kapitel 2.2.2).

Abschließend wird die Ausgangslage analysiert, die durch das Graduiertenkolleg vorgegeben ist.

Aus allen zuvor identifizierten Bedingungen wurde ein Konzept entwickelt, welches die Doktoranden in der ersten Förderphase des Graduiertenkollegs in die Wissenschaftskommunikation einführen sollte. Darüber hinaus wurde auf Grundlage der Anforderungen an die Maßnahmen das Untersuchungsdesign konkretisiert.

Die Vorstudie hat insbesondere gezeigt, dass die Doktoranden bei Eintritt in das Graduiertenkolleg noch wenige Berührungspunkte mit dem Thema Wissenschaftskommunikation hatten. Für die in der Hauptstudie zu gestaltenden Maßnahmen bedeutete das ganz besonders, dass durch dieselben das eigentliche Verständnis für das Konzept Wissenschaftskommunikation bei der überwiegenden Anzahl der Doktoranden erst konstituiert werden musste. Daraus resultierte, dass es kaum Vorannahmen oder Erwartungen gab, die erfüllt oder revidiert werden konnten oder mussten. Vielmehr sollte ein Konzept entwickelt werden, welches sukzessive ein Verständnis für das Konstrukt Wissenschaftskommunikation generiert, ohne dabei explizit auf vorhandene Präkonzepte eingehen zu müssen.

Daran schließt sich der Wunsch der Doktoranden nach Organisation und Anleitung im Hinblick auf die Wissenschaftskommunikation im Graduiertenkolleg an. Diesem sollte im Konzept

entsprochen werden. Der zeitliche Rahmen für die einzelnen Maßnahmen stellte kein unbedingtes Kriterium für die Konzeptionalisierung dar. Aus diesem Grund konnte an dieser Stelle so geplant werden, wie es für die Förderung der Doktoranden am sinnvollsten erschien. Darüber hinaus musste eine Kontextualisierung der Maßnahmen implementiert werden. Die Doktoranden sollten erfahren, welchen konkreten Nutzen Wissenschaftskommunikation neben dem übergeordneten Nutzen des gesamtgesellschaftlichen Fortschritts birgt. Sie sollten ferner über etwaige Möglichkeiten in Kenntnis gesetzt werden, die es gibt, um Öffentlichkeitsarbeit im Hinblick auf die eigene Forschung zu leisten. Außerdem sollten im Rahmen des Graduiertenkollegs Schulungen stattfinden, die das Vortragen fördern und unterstützen. Darüber hinaus sollten die Doktoranden lernen, ihr Promotionsthema zusammenfassend so zu gestalten, dass die Öffentlichkeit einen Zugang dazu erhalten kann.

Im 10-Punkte-Plan der Allianz, zu der auch die Deutsche Forschungsgemeinschaft gehört, wird in Form von Handlungsempfehlungen deutlich, welche Aspekte unbedingt durch Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen in einem Graduiertenkolleg abgedeckt werden sollten. Es soll zum einen der in der Forschung übliche Erkenntnisprozess verdeutlicht werden und zum anderen sollen audiovisuelle Medien stärkere Berücksichtigung finden. Zudem sollen die Wissenschaftler stärker durch die einzelnen Organisationen unterstützt werden. An dieser Stelle ist die Deutsche Forschungsgemeinschaft selbst gemeint, das deckt sich übergreifend mit dem Wunsch der Doktoranden nach externer Unterstützung (siehe Kapitel 2.2.2). Ergänzend dazu gaben Österreichische Wissenschaftler im Jahr 2022 an, dass es nur dann zu einer weiteren Professionalisierung des Feldes der Wissenschaftskommunikation kommen kann, wenn entsprechende Strukturen für die Wissenschaftler geschaffen werden (Nölleke et al., 2022, S. 41).

Im Graduiertenkolleg war die Besetzung der Doktoranden stark volatil, es konnte von einer Gesamtanzahl von durchschnittlich 15 Doktoranden ($N = 15$) im Verlauf der Studie ausgegangen werden. Inkludiert ist auch ein Postdoktorand, der graduiertenkollegintern stets zu den Doktoranden gezählt wird und an den entsprechenden Veranstaltungen teilnimmt. Die $N = 15$ war die Anzahl Doktoranden mit der hypothetisch gearbeitet werden konnte; tatsächlich variierte die Anzahl der an den Maßnahmen partizipierenden Doktoranden. Dies hatte unterschiedliche Gründe, wie beispielsweise die obligatorische Teilnahme an anderen dem Qualifizierungsprogramm inhärenten Workshops oder die eigene Forschung. Insbesondere im chemischen Graduiertenkolleg kann oft von langen Laborzeiten ausgegangen werden. Nicht immer ist jeder Doktorand verfügbar gewesen oder konnte sich Zeit für die Angebote im Bereich der Wissenschaftskommunikation im GRK nehmen. Diese waren im Vergleich zu

anderen Weiterbildungsangeboten des GRKs nicht obligatorisch. Die tatsächliche Anzahl partizipierender Doktoranden war daher stets kleiner als die zur Verfügung stehende Anzahl. Ferner musste berücksichtigt werden, dass auch die Autorin selbst Teil des Graduiertenkollegs war und somit im ständigen Austausch mit den Probanden stand. Sie nahm ebenfalls an den Angeboten teil und war daher unmittelbar Teil der eigenen Forschung. An dieser Stelle wird bereits deutlich, dass eine Forschungsmethode gewählt werden musste, die die Teilnahme der Autorin im Programm der Probanden berücksichtigt. Darüber hinaus sollten verschiedene Angebote zur Wissenschaftskommunikation erstellt werden, die zeitlich zunächst nicht näher definiert werden konnten, da hier eine Abhängigkeit sowohl vom Verlauf der Pandemie als auch vom Gesamtfortschritt des Graduiertenkollegs bestand. Zudem waren die Angebote auch abhängig von externen Datierungen für größere Veranstaltungen. Aus erkenntnistheoretischer Sicht musste eine möglichst flexible Methode gewählt werden, die an all die genannten Anforderungen adaptiert werden kann.

6.2.1 Forschungsdesign

Aus den beschriebenen Ergebnissen und Anforderungen wird deutlich, dass ein Konzept entwickelt werden musste, welches das übergeordnete Ziel verfolgt, die Doktoranden in ihrer subjektiven Überzeugung zu stärken, selbst fähig zu sein, ihre Forschung im Rahmen von Öffentlichkeitsarbeit darzustellen. Dieses Ziel resultiert originär aus der Forderung des Grundsatzpapiers des BMBF, dass Wissenschaftler ihre Forschung der allgemeinen Öffentlichkeit zugänglich machen sollen (siehe Kapitel 2.1). Das impliziert, dass Wissenschaftler spätestens nach ihrer Promotion fähig zur Wissenschaftskommunikation sein sollen. Diesem Anspruch wurde im Rahmen dieser Studie versucht gerecht zu werden.

Um die subjektive Überzeugung der Fähigkeit zur Wissenschaftskommunikation zu messen, wurde im Rahmen der Hauptstudie das psychologische Konstrukt der Selbstwirksamkeitserwartung untersucht. Selbstwirksamkeitserwartung beschreibt die gegenwärtige Überzeugung die eigenen Fähigkeiten in Bezug auf eine spezifische Situation in der Zukunft effizient einsetzen zu können, sodass die Herausforderung erfolgreich gemeistert werden kann (siehe Kapitel 2.3.1). Weiter wird Selbstwirksamkeitserwartung als subjektive Gewissheit beschrieben, eine neue Situation bedingt durch die eigenen Kompetenzen bewältigen zu können, wobei es sich bei der Anforderungssituation nicht um Aufgaben handeln

kann, die durch Routine lösbar sind (Schwarzer & Jerusalem, 2002, S. 35). Das trifft auf die Maßnahmen zur Wissenschaftskommunikation zu.

Für die Hauptstudie dieser Arbeit wurde basierend auf dem übergeordneten Ziel und dem damit verbundenen Konstrukt der Selbstwirksamkeitserwartung folgende Forschungsfrage formuliert:

Inwiefern wird die Selbstwirksamkeitserwartung der Doktoranden des Graduiertenkollegs ModISC durch die entwickelten Interventionsmaßnahmen, in Form von verschiedenen Angeboten zur Wissenschaftskommunikation, beeinflusst?

Es wurde untersucht, inwiefern die einzelnen Maßnahmen zur Wissenschaftskommunikation Einfluss auf die Selbstwirksamkeitserwartung der Doktoranden nehmen. Anschließend wurde aus den Ergebnissen eine erste Theorie abgeleitet, die den Weg für ein Konzept zur Implementation von Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen in einem Forschungsverbund beschreibt.

Im Sinne des Kriteriums der Nützlichkeit soll das generierte Wissen als Werkzeug dienen, um anschließend perspektivisch eine Strategie zur *Wissenschaftskommunikation in naturwissenschaftlichen Forschungsverbänden* zu etablieren (Döring & Bortz, 2016, S. 91).

6.2.2 Forschungsmethodik

Als Untersuchungsinstrument der Entwicklung der Selbstwirksamkeitserwartung wurde ein Pre-Post-Fragebogendesign angewendet; in der Voruntersuchung als geschlossenes und in der Nachuntersuchung als halboffenes Format. Fragebögen erfassen subjektiv empfundene Aspekte, die nicht durch die Beobachtung erkennbar sind (Döring & Bortz, 2016, S. 398). Darüber hinaus wird durch die Kombination quantitativer sowie qualitativer Daten ein besseres Fundament für die Analyse von Einzelfällen geschaffen (Schrenker, 2012, S. 281). Die Entscheidung, die Datenerfassung anhand eines Fragebogens zu gestalten, war eine forschungspragmatische. Die Autorin der vorliegenden Studie fungierte gleichzeitig als die von den Doktoranden in der Vorstudie gewünschte externe Anleitung für die Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen (siehe Kapitel 6.1.4.1). Dadurch war sie stets in alle Prozesse involviert und immer vor Ort. Diese Möglichkeit sollte zunächst Grundlage für eine

Triangulation im Rahmen eines Fragebogens für die Doktoranden, sowie einer teilnehmenden, wissenschaftlichen Beobachtung durch die Autorin dieser Studie sein (Döring & Bortz, 2016, S. 323). Die Situation hätte ihr einen tiefen Einblick und eine permanente Integration der neusten Erkenntnisse in die weitere Planung und gegebenenfalls auch eine Umgestaltung des Forschungsprozesses ermöglicht (Döring & Bortz, 2016, S. 184). Da es bisher noch keine Studien gibt, in denen die Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen in einem Forschungsverbund zuerst theoriegeleitet entwickelt und anschließend evaluiert wurden, hätte der Triangulations-Ansatz zugleich die Möglichkeit geboten, die Studie zu lenken. Es wäre jedoch nicht möglich gewesen, alle Modalitäten, die nach DÖRING UND BORTZ eine wissenschaftliche Beobachtung definieren, wie beispielsweise eine mediale Aufzeichnung, umzusetzen (2016, S. 324). Auch ein regelgeleitetes Vorgehen war auszuschließen, da die Personalunion von Anleitung und hypothetisch beobachtender Person dies unmöglich machte (Döring & Bortz, 2016, S. 327). Darüber hinaus wäre auf diese Weise eine artifizielle Situation geschaffen worden. Sicherlich sind einige Aspekte, wie zum Beispiel die Lenkung der Forschung auch ohne explizites Forschungsvorhaben durch eine wissenschaftliche Beobachtung in die Studie eingeflossen. Auch eine Form der kommunikativen Validierung hat stattgefunden, da während der Studie permanent Rücksprache mit den Probanden gehalten wurde. Das war nicht vermeidbar (Döring & Bortz, 2016, S. 109). Aufgrund der vorhandenen Ressourcen der zu untersuchenden Doktoranden und deren eingeschränkter Flexibilität wurde der Fragebogen als geeignete Erhebungsmethode identifiziert. Darüber hinaus war die Zusammensetzung der Probandengruppe bis kurz vor den Interventionen flexibel, da die Teilnahme an den Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen nicht obligatorisch war. Auch diesem Aspekt wurde der Einsatz eines Fragebogens gerecht, der während des ersten Zusammentreffens, unabhängig von den anwesenden Personen, ausgegeben werden konnte. Der Fragebogen wurde auf Grundlage des Fragebogens zur allgemeinen Selbstwirksamkeitserwartung von SCHWARZER UND JERUSALEM erstellt (1999). Zehn Items erheben die Selbstwirksamkeitserwartung. Für die Untersuchung der einzelnen Maßnahmen in der vorliegenden Studie wurden die zehn Items an das Thema Wissenschaftskommunikation sowie an die einzelnen Maßnahmen adaptiert. Die Items wurden durch eine vierstufige Likert-Skala bewertet. Diese wird ebenfalls von SCHWARZER UND JERUSALEM verwendet (1999). Die Selbstwirksamkeitserwartung wird durch Erfolge gestärkt und durch Misserfolge geschwächt (Schwarzer & Jerusalem, 2002, S. 42). Einer der bedeutendsten Quellen durch die die Selbstwirksamkeitserwartung beeinflusst wird, ist die *mastery experience* und bezeichnet das

konkrete Erfolgserleben basierend allein auf den eigenen Fähigkeiten, nicht auf Glück oder auf externen Begebenheiten (siehe Kapitel 2.3.3).

Anhand eines Pre-Post-Design wurde ermittelt, inwiefern die Selbstwirksamkeitserwartung der Doktoranden durch die jeweilige Interventionsmaßnahme beeinflusst wird (siehe Abbildung 34).

Unter dem Begriff Interventionsmaßnahme¹⁵ werden die Wissenschaftskommunikationsmaßnahme und vorbereitende Workshops zusammengefasst. In Abhängigkeit von der Maßnahme bestehen diese aus einem oder mehreren Treffen.

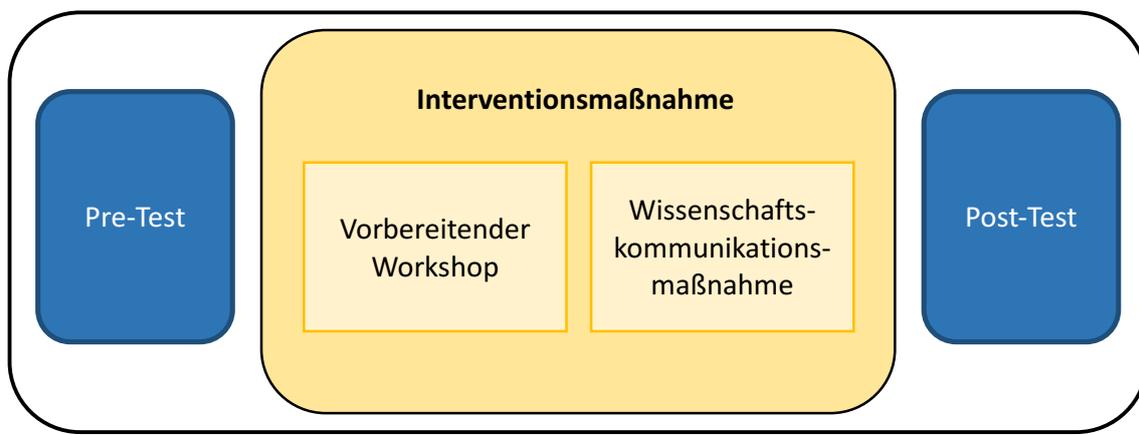


Abbildung 34: Pre-Post-Design für die Interventionsmaßnahmen in der Hauptstudie.

Die Ergebnisse der quantitativen Daten wurden anschließend für jeden einzelnen Doktoranden deskriptiv beschrieben und graphisch dargestellt. Zudem wurden sie in Bezug zu den jeweils dazugehörigen qualitativen Daten gesetzt (siehe Anhang 8.2).

Die individuellen Gesamtergebnisse wurden für jeden Doktoranden einzeln ausgewertet. Anschließend wurden die individuellen Ergebnisse vor dem Hintergrund der in der Vorstudie gebildeten Typen zusammengefasst, um Aussagen über die je geeigneten Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen zu treffen, und daraus erste Ansätze für ein perspektivisches Konzept zur Wissenschaftskommunikation in naturwissenschaftlichen Forschungsverbänden zu entwickeln.

Die qualitativen Daten wurden darüber hinaus im Rahmen einer thematischen Analyse ausgewertet. Dabei lag der Fokus auf den Interventionen selbst und nicht auf den Doktoranden. Anschließend wurden im Sinne des explorativen Ansatzes aus der Studie resultierende Fragen formuliert, bevor die Methode reflektiert wurde. Es ist wesentlich, eine Reflexion des

¹⁵ Synonym wird nachfolgend der Begriff Intervention verwendet.

Forschungsprozesses durchzuführen, um die Ergebnisse angemessen einordnen zu können (Flick, 1991, S. 171 f.).

6.2.3 Entwicklung der Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen

Vor dem Hintergrund der dargestellten Anforderungen und Bedingungen wurden die Maßnahmen zur Wissenschaftskommunikation entwickelt (siehe Abbildung 35).

Einige der Anforderungen wurden von Beginn an an externe Organisationen ausgelagert, die diese im Rahmen von hinführenden Workshops übernahmen.

Der grundlegende Kurs zum Thema *Wissenschaftskommunikation* wurde von *Wissenschaft im Dialog*¹⁶ aus Berlin durchgeführt. In einem eintägigen Workshop, der aufgrund der Pandemie online stattgefunden hat, informierten sie die Doktoranden über den Nutzen von Wissenschaftskommunikation sowie über die Möglichkeiten zur Öffentlichkeitsarbeit. Inhalte des Workshops waren darüber hinaus die Vorstellung verschiedener sozialer Medien sowie die Präsentation unterschiedlicher digitaler wie auch analoger Plattformen.

Auch die zusammenfassende Gestaltung des Promotionsthemas erlernten die Doktoranden in einem externen Workshop, der sich übergeordnet mit der Möglichkeit der Wissenschaftskommunikationsmaßnahme *Science Slam* befasste. Dazu wurde das Team von *Science Slam*¹⁷ um JULIA OFFE akquiriert. Dieser Workshop konnte in Präsenz an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf stattfinden.

Des Weiteren erhielten die Doktoranden ein Training zum Erstellen von PowerPoint-Animationen durch AMITABH BANERJI, welches im online-Format stattfand (2017). Auf diese Weise konnten die Doktoranden synchron im Workshop an ihren eigenen Endgeräten mitarbeiten.

Durch die externen Angebote, die ausgewählt wurden, um den Doktoranden das grundlegende Wissen zur Wissenschaftskommunikation vor der Teilnahme an konkreten Maßnahmen zu vermitteln, konnte sowohl dem Wunsch nach einer konkreten Hinführung zum Thema Wissenschaftskommunikation, als auch dem nach Anleitung bei der Aufbereitung des eigenen Forschungsthemas für die Öffentlichkeit entsprochen werden.

¹⁶ <https://www.wissenschaft-im-dialog.de>

¹⁷ <https://www.scienceslam.de>

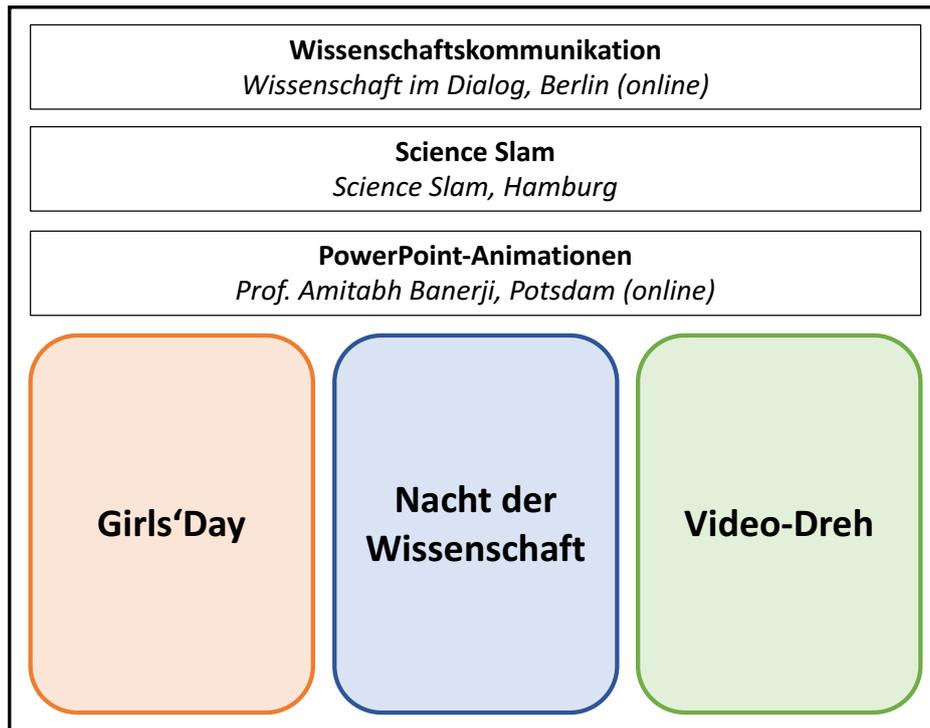


Abbildung 35: Übersicht aller Bausteine zur Wissenschaftskommunikation im Graduiertenkolleg.

Auf Grundlage der drei vorausgegangenen Bausteine wurde ein Konzept zur Etablierung von Wissenschaftskommunikation im Graduiertenkolleg entwickelt, welches nach den Einschränkungen der Pandemie umgesetzt und evaluiert werden konnte.

Es wurden drei verschiedene Maßnahmen mit je unterschiedlichem Grad der Partizipation bei der Konzeption entwickelt. Außerdem unterschieden sich die Maßnahmen in der Art der Kommunikation. Indem verschiedene Maßnahmen angeboten wurden, sollte ein großes Spektrum an Wissenschaftskommunikationsmöglichkeiten und Förderung dargeboten werden (siehe Abbildung 36). Integriert in das Konzept wurde darüber hinaus die entwickelte Lerneinheit zur Elektrolumineszenz-Folie (siehe Kapitel 5). Diese wurde eingesetzt um eine Maßnahme zu gestalten, die keine Partizipation der Doktoranden in der Vorbereitung verlangt.

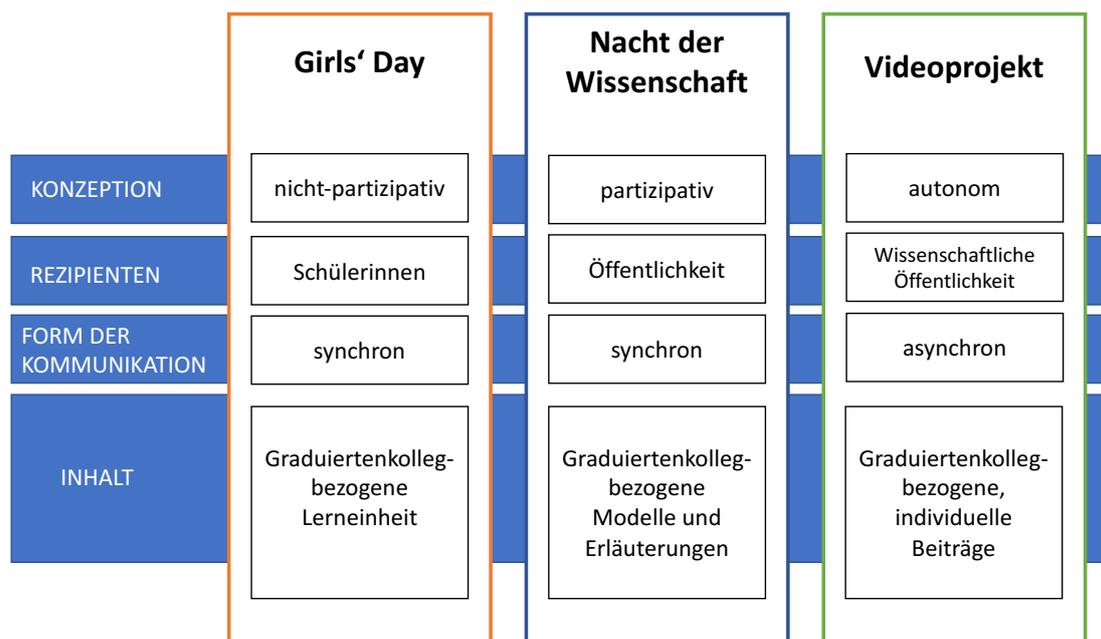


Abbildung 36: Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen im Graduiertenkolleg; Einsatz der graduiertenkollegbezogenen Unterrichtseinheit (siehe Kapitel 5).

6.2.3.1 Girls' Day an der Heinrich-Heine-Universität

Als erste Maßnahme wurde die Gestaltung des *Girls' Days* an der Heinrich-Heine-Universität umgesetzt (Gantenberg, 2018, S. 159, 171).

In einem durch die Universität vorgegebenen Zeitrahmen von 1,5 Stunden führten Schülerinnen ein Experiment durch, welches im Kontext des Graduiertenkollegs ModISC steht. Die anderthalb Stunden wurden in eine kurze Phase im Seminarraum und eine lange Laborphase eingeteilt. Im Seminarraum wurden die Schülerinnen in Kürze durch die Autorin über den Ablauf unterrichtet, bevor sie ins Labor gingen, wo sie durch die Doktoranden betreut wurden. Es wurde das Experiment der hands-on Elektrolumineszenz-Folie in Ergänzung der Lernmaterialien (siehe Kapitel 5) eingesetzt.

Der Bezug des Experiments zum Graduiertenkolleg stellt sicher, dass die Doktoranden Forschung des Graduiertenkollegs kommunizieren. Das ist die Voraussetzung für die Vergleichbarkeit der einzelnen Interventionsmaßnahmen. Die Inhalte sind den Doktoranden nicht fremd und können als graduiertenkollegbezogene Wissenschaftskommunikation verstanden werden. Das Experiment wird im Rahmen der reduzierten Lerneinheit mit den Schülerinnen durchgeführt, sodass diese nicht nur einen Einblick in die Laborpraxis erhalten, sondern auch den direkten Bezug zur theoretischen Hintergrundarbeit eines Chemikers verstehen. Die Interventionsmaßnahme für die Doktoranden bestand aus zwei Terminen, dem

eigentlichen Termin des *Girls' Days* sowie einem vorbereitenden Treffen. Sie wurden vor dem *Girls' Day* in Form eines Workshops für die Aufgabe der Betreuung der Schülerinnen geschult. Dazu wurden ihnen die Lerneinheit sowie die dazugehörigen Modelle erläutert. Darüber hinaus wurden ihnen Hinweise zur Vermittlung komplexer Inhalte an Lernende gegeben. Abschließend erprobten sie das Experiment im Labor. Während der einzelnen Experimentierschritte wurden Techniken, wie beispielsweise das Rakeln, angewendet, die auch für die Doktoranden neu waren. Durch die Erprobung konnten die Doktoranden identifizieren, an welchen Stellen die Durchführung besondere Aufmerksamkeit benötigt und zu welchen Experimentierschritten die Schülerinnen primär Fragen stellen könnten. Darüber hinaus erlernten sie Maßnahmen zur eventuellen Fehlerbehebung für die einzelnen Schritte des Experiments.

Für die Evaluation dieser Interventionsmaßnahme im Kontext mit den anderen Maßnahmen ist es wichtig, dass die Kommunikation während des *Girls' Days* in Form einer synchronen Einzelbetreuung erfolgt. Darüber hinaus ist die Beteiligung der Doktoranden an der Konzeption der Wissenschaftskommunikationsmaßnahme selbst relevant. Diese erfolgt für den *Girls' Day* ohne die Partizipation der Doktoranden. Nachfolgend wird diese Form der Gestaltung als nicht-partizipative Gestaltung bezeichnet. Die Lerneinheit wurde von der Autorin entwickelt und für den Einsatz beim *Girls' Day* zur Verfügung gestellt. Die Doktoranden konnten darauf keinen Einfluss nehmen.

Für den *Girls' Day* in den Chemischen Instituten der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf meldeten sich insgesamt sieben Schülerinnen an. Es meldeten sich fünf Doktoranden mit Deutsch als Muttersprache sowie ein nicht deutschsprachiger Doktorand an. Es erfolgte die Einteilung in drei einzeln zu betreuende Schülerinnen und zwei Zweiergruppen. Die eine Zweiergruppe wurde von einer Zweiergruppe Doktoranden betreut, die sich aus dem nicht deutschsprachigen sowie einem deutschsprachigen Doktoranden zusammensetzte. Die andere Zweiergruppe wurde von einem Doktoranden betreut, der sich freiwillig dazu bereit erklärte. In den anderen Fällen erfolgte eine Eins-zu-Eins-Betreuung. Das Experiment, in dem ein elektrolumineszierendes Bauteil hergestellt wird, wurde nicht gruppenweise durchgeführt. Jede Schülerin konnte ein eigenes Bauteil erstellen. Für die Durchführung wurde jeder Laborplatz vor dem Erscheinen der Schülerinnen so hergerichtet, dass alle Materialien und Chemikalien, sowie ein Tablet für die Nutzung der digitalen Durchführungsbeschreibung (siehe Anhang 8.8) und die Arbeitsblätter (siehe Anhang 8.6) bereit lagen.

Alle hergestellten Bauteile waren vollständig funktionsfähig.

6.2.3.2 Nacht der Wissenschaft in Düsseldorf

Als zweite Maßnahme wurde die *Nacht der Wissenschaft* in Düsseldorf als geeigneter Rahmen identifiziert.

Über insgesamt sechs Stunden (18.00-00.00 Uhr), exklusive Vor- und Nachbereitungszeit, werden während der *Nacht der Wissenschaft* verschiedene Forschungsbereiche und Themen vorgestellt. In einem großen Zelt bekommen die einzelnen Wissenschaftler einen Stand zugeteilt, der mit dem gewünschten Equipment so gestaltet werden kann, wie es sich für die vorgesehene Präsentation der Inhalte am besten eignet. Für die Inhalte sind die Wissenschaftler selbst verantwortlich, alles Weitere wird durch die Organisatoren gestellt.

Für diese Interventionsmaßnahme wurden insgesamt drei Termine á 1,5 Stunden als vorbereitender Workshop angesetzt, da die Gestaltung des Standes durch Mitwirkung der teilnehmenden Doktoranden erfolgen sollte. Im Vergleich zur Maßnahme *Girls' Day* wurde die Maßnahme *Nacht der Wissenschaft* mit Beteiligung der Doktoranden gestaltet, dies wird im Folgenden als partizipative Gestaltung bezeichnet. Insgesamt meldeten sich sieben Doktoranden für die *Nacht der Wissenschaft* an. In einem ersten Treffen wurden die Doktoranden durch die Autorin über die Rahmenbedingungen informiert. Die Autorin stand im stetigen Kontakt mit den Organisatoren der *Nacht der Wissenschaft*. Die Doktoranden wurden über die Inhalte der beiden Folgetermine aufgeklärt. Zum ersten Folgetermin sollten sie in einem Brainstorming Ideen sammeln, welche graduiertenkollegbezogenen Inhalte interessant für die Öffentlichkeit sein könnten. Diese Ideen sollten sie der Autorin schon vor dem ersten Folgetermin zukommen lassen, damit sichergestellt werden konnte, dass jeder einen Beitrag leistet. Im ersten Folgetermin wurden die Ideen zusammengetragen und es wurde, angeleitet durch die Autorin, ein erstes Konzept für den Stand der *Nacht der Wissenschaft* entwickelt. Dabei wurden die benötigten Materialien sowie die Konzeption des Standes diskutiert. Abschließend nahm sich jeder Doktorand einer vorbereitenden Aufgabe, wie beispielsweise der Erstellung von Postern, an. Im zweiten Folgetermin wurden alle Inhalte vorgestellt und unter Anleitung das Gesamtkonzept entwickelt. Dieses sollte aus drei verschiedenen Bereichen bestehen, einem Bereich zu den grundlegenden Prozessen der Fluoreszenz- und der Phosphoreszenz (siehe Kapitel 4.2.1.2), einem weiteren Bereich zum Thema Elektro- und Photolumineszenz (siehe Kapitel 4.2) sowie einem Anwendungsbereich, indem die Hintergründe zu OLED-Bildschirmen in Form von Display-Mikroskopie und dem Vergleich der Funktionen von Elektrolumineszenz-Folie und OLED erläutert wurden. Hier wurde ein fertig gestelltes Bauteil des Lehr-Lern-Experiments zur Elektrolumineszenz Folie eingesetzt.

Im Plenum wurde anschließend ein allgemeingültiges Narrativ für den Stand entwickelt. Vor dem Hintergrund des bekannten Stand-Konzeptes sowie des gemeinsam erarbeiteten Narrativs, konnte sich jeder Doktorand auf die *Nacht der Wissenschaft* vorbereiten.

Für die Evaluation dieser Interventionsmaßnahme ist insbesondere die partizipative Gestaltung, sowie die Kommunikation vor Ort relevant. Im Vergleich zum *Girls' Day* agierten die Doktoranden ebenfalls synchron, kommunizierten jedoch mit wechselndem Publikum. Dadurch mussten sie auf variierende Bedürfnisse eingehen und mit der individuell begrenzten Zeit umgehen.

Es gab drei verschiedenen Gruppen à zwei bzw. drei Doktoranden, die den Stand sukzessive betreuten. Inklusive Vor- und Nachbereitung des Standes war jeder Doktorand zwei Stunden vor Ort. Am Stand gab es keinen geregelten Ablauf. Je nach Publikum und dessen Interessen mussten die Doktoranden agieren und mit Unterstützung der vorbereiteten Materialien auf die Fragen eingehen. Jeder Doktorand war frei in dem, was er erklären und erzählen möchte, konnte sich aber am erarbeiteten Narrativ orientieren.

6.2.3.3 Videoprojekt

Um unter anderem dem Anspruch der verstärkten Berücksichtigung audiovisueller Medien nachzukommen (siehe Kapitel 2.2.2), wurde die dritte Maßnahme durch ein Videoprojekt abgebildet, welches graduierntenkollegübergreifend durchgeführt werden sollt.

Für das Videoprojekt sollten von jedem Arbeitskreis Videos gedreht werden. Das Ziel war es, diese anschließend auf der gemeinsamen ModISC-Homepage zur Verfügung zu stellen. Alle Doktoranden erhielten im Rahmen eines Workshops eine Einführung in die Nutzung eines Storyboards, welches sie im Anschluss individuell bearbeiten sollten. Im Anschluss an die Arbeitsphase wurden die Doktoranden gebeten, der Autorin die fertigen Storyboards zukommen zu lassen und einen Terminvorschlag für den Videodreh einzureichen.

Für die Evaluation des Videoprojektes ist insbesondere die Form der Gestaltung relevant. Die Doktoranden waren gänzlich frei in der Gestaltung der einzelnen Videos. Lediglich der Rahmen wurde durch die Autorin vorgegeben. Diese Form der Gestaltung wird nachfolgend als autonome Gestaltung bezeichnet. Darüber hinaus erfolgt die Kommunikation der Inhalte asynchron und das Publikum ist nicht festgelegt. Da es sich um Videos handelt, die auf der Homepage des Graduiertenkollegs veröffentlicht werden sollen, wird von einem Zielpublikum

bestehend aus interessierter, vielmehr aber wissenschaftlicher Öffentlichkeit ausgegangen. Um die Videos im Sinne der Internationalität des Graduiertenkollegs für ein möglichst breites Publikum zugänglich zu machen, war die Verwendung der englischen Sprache obligatorisch.

Nach der Einführung in das Videoprojekt meldeten sich nicht alle Doktoranden zurück. Insgesamt zwölf Doktoranden nahmen am Videoprojekt teil, welches sich über die gesamte Zeit der vorliegenden Studie erstreckte. Ein weiterer Doktorand aus der zweiten Kohorte des Graduiertenkollegs nahm ebenfalls teil. Der Schnitt der Videos wurde von einer externen Firma übernommen, während der Dreh aufgrund einer graduiertenkolleginternen Entscheidung von der Autorin übernommen wurde. Die Aufnahme der Videos nahm je Arbeitskreis, in Abhängigkeit von Vorbereitung und Storyboard, ein bis zwei Tage in Anspruch.

6.2.4 Konzeption der Fragebögen

Der Pre-Fragebogen setzt sich für den *Girls' Day* (siehe Anhang 8.3.3) und die *Nacht der Wissenschaft* (siehe Anhang 8.3.4) aus zwei Teilen zusammen. Im ersten Teil wird ein persönlicher Code erstellt. Das erfolgt auf die gleiche Weise, wie schon in der Vorstudie (siehe Kapitel 6.1.3). Es ermöglicht die Vergleichbarkeit der einzelnen Fragebögen bei gleichzeitiger Anonymität der Doktoranden. Im zweiten Teil werden zehn Items formuliert, die sich an dem Test zur allgemeinen Selbstwirksamkeit von SCHWARZER UND JERUSALEM orientieren (siehe Kapitel 6.2.2). Diese wurden für die Adaption an die vorliegende Studie identifiziert und im Rahmen der Anforderungen kontextualisiert und umformuliert. In der Regel erfolgte die Gestaltung der Items, angelehnt an SCHWARZER UND JERUSALEM, indem eine Anforderung beschrieben und im zweiten Teil des Satzes in Verbindung mit dem eigenen Handlungspotential gebracht wurde (1999). Es wurden keine Items zur allgemeinen Selbstwirksamkeit formuliert. Der Fokus der Untersuchung lag auf der jeweiligen Wissenschaftskommunikationsmaßnahme sowie dem Umgang mit eventuellen Hindernissen während derselben. Aus den genannten Gründen werden überwiegend bereichsspezifische Items formuliert, die durch situationsspezifische ergänzt werden (siehe Kapitel 2.3.5). Bei Items, die nicht in der ersten Person-Singular formuliert sind, wird dennoch die subjektive Wahrnehmung erfragt, da die Einschätzung durch den Respondenten erfolgt. Nachfolgend wird tabellarisch dargestellt, wie die Items aus der Skala von SCHWARZER UND JERUSALEM an die Bedürfnisse der vorliegenden Studie adaptiert wurden (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Übersicht der an die Anforderungen zur Messung der Selbstwirksamkeitserwartung während der Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen adaptierten Items.

Item bei SCHWARZER & JERUSALEM (1999)	Adaptiertes Item zur Wissenschaftskommunikation	Nummer des Items Fragebögen <i>Girls' Day</i>	Nummer des Items Fragebögen <i>Nacht der Wissenschaft</i>
Wenn sich Widerstände auftun, finde ich Mittel und Wege mich durchzusetzen.	Wenn ich mit Fachfremden über meine Forschung spreche, kann ich die Inhalte vermitteln. (bereichsspezifisch)	1	9
Die Lösung schwieriger Probleme gelingt mir immer, wenn ich mich darum bemühe.	Menschen, denen ich von meiner Forschung berichtet habe, möchten meistens mehr darüber erfahren. (situationsspezifisch)	2	7
Es bereitet mir keine Schwierigkeiten, meine Absichten und Ziele zu verwirklichen.	Es bereitet mir keine Schwierigkeiten, über meine Forschung zu sprechen. (bereichsspezifisch)	3	3
In unerwarteten Situationen weiß ich immer, wie ich mich verhalten soll.	Die Kommunikation meiner Forschung hat einen gesellschaftlichen Mehrwert. (bereichsspezifisch)	4	10
Auch bei überraschenden Ereignissen glaube ich, daß [sic!] ich gut mit ihnen zurechtkommen kann.	Fragen von Fachfremden zu meiner Forschung weiß ich auf Anhieb verständlich zu beantworten. (situationsspezifisch)	5	5
Schwierigkeiten sehe ich gelassen entgegen, weil ich meinen Fähigkeiten immer vertrauen kann.	Der Betreuung der Schülerinnen am <i>Girls' Day</i> / der Teilnahme an der <i>Nacht der Wissenschaft</i> sehe ich gelassen entgegen, weil ich meinen Fähigkeiten immer vertrauen kann. (bereichsspezifisch)	6	6
Was auch immer passiert, ich werde schon klarkommen.	Kritische Nachfragen der Schülerinnen/ des Publikums der <i>Nacht der Wissenschaft</i> werde ich lösungsorientiert beantworten können. (situationsspezifisch)	7	2
Für jedes Problem kann ich eine Lösung finden.	Wenn ich über chemische Inhalte sprechen soll, weiß ich immer, wie ich das kontextbezogen umsetze. (bereichsspezifisch)	8	8
Wenn eine neue Sache auf mich zukommt, weiß ich, wie ich damit umgehen kann.	Fachfremde von meiner Forschung zu begeistern, fällt mir nicht schwer. (bereichsspezifisch)	9	1
Wenn ein Problem auftaucht, kann ich es aus eigener Kraft meistern.	Den Schülerinnen die Inhalte des Experiments theoretisch nahezubringen/ Dem Publikum die Inhalte der <i>Nacht der Wissenschaft</i> zu erklären, wird mir ohne Probleme gelingen. (bereichsspezifisch)	10	4

Die so erstellten Items messen die Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf die jeweilige Maßnahme zur Wissenschaftskommunikation. Die interne Konsistenz des Tests zur

allgemeinen Selbstwirksamkeit von SCHWARZER UND JERUSALEM wird durch ein Cronbachs Alpha zwischen .78 und .79 beschrieben (Schwarzer & Jerusalem, 1999). Für die adaptierten Items konnte kein aussagefähiges Cronbachs Alpha berechnet werden, da sich die Stichprobe für den *Girls' Day* auf insgesamt sechs Doktoranden belief, die in Relation zu wenig Items beantworten konnten.

Für die Fragebögen zur *Nacht der Wissenschaft* wurden die Items in einer teils anderen Reihenfolge angeordnet, um den Wiedererkennungswert zu verringern (siehe Tabelle 5).

Darüber hinaus wurden drei Fragen zur Partizipation an der Konzeption formuliert. Diese fanden anschließend aus forschungspragmatischen Gründen in der Auswertung keine Berücksichtigung.

Für die Post-Fragebögen wurden die Items zur Selbstwirksamkeitserwartung, die im Pre-Fragebogen in der Zukunft formuliert sind, in der Vergangenheit formuliert.

Die Post-Fragebögen wurden durch offene Fragen ergänzt, die sich an der jeweiligen Maßnahme orientierten.

Für den Post-Fragebogen zum *Girls' Day* (siehe Anhang 8.3.5) wurden die nachfolgenden offenen Fragen konzipiert:

1. Bitte beschreibe, inwiefern das Training für den *Girls' Day* am 11.04.2022 eine Auswirkung auf deine Einstellung gegenüber dem *Girls' Day* hatte.
2. Erläutere, wie deine Einstellung zum *Girls' Day* beeinflusst wurde durch: die (vorausgegangene) Erprobung des Experiments im Labor.
3. Erläutere, wie deine Einstellung zum *Girls' Day* beeinflusst wurde durch: die Aufgabe, den Mädchen die theoretischen Hintergründe zum Experiment zu erklären.

Der Post-Fragebogen zur *Nacht der Wissenschaft* (siehe Anhang 8.3.7) wurde um vier offene Fragen ergänzt. Diese wurden im Forschungsprozess basierend auf den Ergebnissen vom *Girls' Day* und den daraus resultierenden Erkenntnisinteressen, die insbesondere auf die subjektiv wahrgenommenen Erfahrungen, sowie auf die vorbereitenden Treffen fokussierten, formuliert:

1. Welche Erfahrungen (gut/schlecht), die du auf der *Nacht der Wissenschaft* gemacht hast, kommen dir als erstes in den Sinn?
Beschreibe sie hier (entweder in Stichworten oder in ganzen Sätzen).
2. Beschreibe, wie du dich gefühlt hast, als du auf der *Nacht der Wissenschaft* Forschung an die Öffentlichkeit kommuniziert hast.
3. In welcher Weise hat die Möglichkeit, Teil der Organisation des Inhaltes zu sein (vorausgegangene Meetings), deine Haltung gegenüber der *Nacht der Wissenschaft* beeinflusst?
4. Hast du noch irgendwelche Anmerkungen in Bezug auf die *Nacht der Wissenschaft*?

Für alle Fragebögen wird eine Fragebogeninstruktion formuliert, um den Fragebogen anzuleiten und den Ablauf zu erläutern. Darüber hinaus wurden die Fragebögen in inhaltliche Blöcke eingeteilt, wodurch sich die Doktoranden besser in die Inhalte eindenken konnten (Döring & Bortz, 2016, S. 406).

6.2.5 Datenerhebung

Die Datenerhebung anhand der Fragebögen wurde kaskadiert durchgeführt, immer dann, wenn eine Maßnahme und deren Vorbereitung durchgeführt wurde. Den Pre-Fragebogen zum *Girls' Day* erhielten die Doktoranden am Ende des ersten Vortreffens in der Heinrich-Heine-Universität im Paper-Pencil-Format. Der Fragebogen wurde vor Ort von allen Doktoranden ausgefüllt. Es wurde auf diesem Weg sichergestellt, dass alle sechs Fragebögen ausgefüllt zurückgegeben werden ($n = 6$). Den Post-Fragebogen erhielten die Teilnehmenden einige Tage nach dem *Girls' Day* als elektronische Befragung. Nachdem die Schülerinnen die Universität wieder verlassen hatten, gab es keinen Moment zum Aushändigen und Ausfüllen analoger Fragebögen. Alle elektronischen Fragebögen wurden ausgefüllt zurückgesendet ($n = 6$). Für die *Nacht der Wissenschaft* wurde nach dem gleichen Prinzip verfahren. Am Ende des dritten Vortreffens in der Heinrich-Heine-Universität wurde der Paper-Pencil-Fragebogen ausgehändigt und es wurden alle mit einer Ausnahme ausgefüllt ($n = 6$), während der Post-Fragebogen gleichermaßen im Anschluss an die *Nacht der Wissenschaft* elektronisch versendet wurde, da es vor Ort keine Möglichkeit zum Ausfüllen gab. Die Post-Fragebögen wurden alle mit einer Ausnahme ausgefüllt ($n = 6$). Bei den Ausnahmen handelt es sich jeweils um den gleichen Doktoranden.

Das Videoprojekt konnte seitens der externen Firma, die die Bearbeitung der Videos übernommen hat, während der Promotionszeit der ersten Kohorte nicht vollständig abgeschlossen werden. Daher wurde die Post-Befragung zur Interventionsmaßnahme Videoprojekt nicht durchgeführt. Aus diesem Grund war es nicht möglich, das Videoprojekt zu evaluieren.

6.2.6 Auswertung

Die detaillierte Ergebnisdiskussion befindet sich aus Platzgründen im Anhang der Arbeit (siehe Anhang 8.2). Es wurden die Ergebnisse der geschlossenen Fragen durch die der offenen Fragen ergänzt. Im Folgenden werden diese ausgewertet. Zunächst werden die Ergebnisse jedes Doktoranden einzeln ausgewertet, bevor sie in Bezug zu den Wissenschaftskommunikationstypen aus der Vorstudie (siehe Kapitel 6.1.4.2) gesetzt werden. Anschließend werden die qualitativen Daten für beide Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen ausgewertet. Abschließend werden erste Ansätze für ein perspektivisches Konzept zur Wissenschaftskommunikation in naturwissenschaftlichen Forschungsverbänden abgeleitet.

In der Auswertung wird auf das Erleben einer *mastery experience* fokussiert. Diese wird durch subjektiv wahrgenommene Erfolge erzielt und ist nach BANDURA der größte positive Einflussfaktor auf die Selbstwirksamkeit (1998, S. 2). SCHWARZER UND JERUSALEM ergänzen, dass die wahrgenommenen Erfolge unbedingt auf die eigenen Fähigkeiten zurückzuführen sein müssen (2002, S. 42).

6.2.6.1 Doktorandenbezogene Auswertung - Girls' Day

Doktorand IO

Der Doktorand IO hat bereits als Kind Erfahrungen mit dem Konzept des *Girls' Days* gemacht. Die Ergebnisse zeigen, dass er in der Kommunikation subjektive Erfolge wahrgenommen hat, sodass von einer *mastery experience* ausgegangen werden kann. Darüber hinaus wurde die Wahrnehmung des Wertes der eigenen Forschung positiv beeinflusst. Insgesamt verbesserte sich die Wahrnehmung der Selbstwirksamkeit verhältnismäßig stark. Dieser Zugewinn kann unter anderem aus der bereits vor der Interventionsmaßnahme positiven Einstellung zu derselben resultieren. Nach SCHWARZER UND JERUSALEM wird eine kreative Herangehensweise an eine Herausforderung durch eine hohe Selbstwirksamkeitserwartung gefördert (2002, S. 36 ff., siehe Kapitel 2.3.3). Es ist fraglich, inwiefern die Erfahrung, die der Doktorand IO vor der Interventionsmaßnahme mit dem *Girls' Day* gemacht hat, relevant für die Entwicklung durch die Interventionsmaßnahme ist.

Doktorand SG

Der Doktorand SG stellt während des *Girls' Days* Erfolge seines eigenen Handelns fest. Während des vorbereitenden Workshops hat er verstanden, wie die Kommunikation von Inhalten gelingen kann. Es kann angenommen werden, dass er diese Erkenntnis während der Wissenschaftskommunikationsmaßnahme umgesetzt und auf diese Weise subjektiv Erfolge erzielt hat. Dadurch macht er eine *mastery experience*, er hat die Inhalte des Workshops verinnerlicht und umgesetzt. Durch die Interventionsmaßnahme fühlt er sich sicherer im Kommunizieren der Inhalte seiner Forschung. Die Wahrnehmung der Selbstwirksamkeit wurde durch die Intervention positiv beeinflusst.

Doktorand IA

Für den Doktoranden IA war der Workshop den eigenen Angaben nach nicht notwendig, um das Vermitteln von Inhalten zu erlernen. Gleichzeitig verschlechtert sich seine Wahrnehmung der eigenen Vermittlungskompetenz durch die Interventionsmaßnahme. Zudem ist er vor dem *Girls' Day* demselben gegenüber eher negativ eingestellt. Das kann die Entwicklung während der Intervention maßgeblich beeinflusst haben (Schwarzer & Jerusalem, 2002, S. 36 ff., siehe

Kapitel 2.3.3). Es ist fraglich, ob die Konzeption des Workshops oder die individuellen Einstellungen des Doktoranden primär dazu beigetragen haben, dass insgesamt keine Entwicklung erfolgte. Darüber hinaus wäre die Entwicklung des Doktoranden IA während der *Nacht der Wissenschaft* in Relation interessant zu untersuchen gewesen. An dieser hat er nicht teilgenommen.

Doktorand DM

Der Doktorand DM gibt an, dass er nach dem vorbereitenden Workshop wusste, was ihn beim *Girls' Day* erwartet. Er hat die Inhalte verinnerlicht und es ist davon auszugehen, dass er diese auch während der Wissenschaftskommunikationsmaßnahme umgesetzt hat. Aufgrund der eigenen Fähigkeiten wurde eine subjektive Erfolgswahrnehmung kreiert. Der Doktorand DM hat vermutlich eine *mastery experience* gemacht. Diese wurde insbesondere in Bezug auf den konkreten Umgang mit den Schülerinnen erfahren. In diesem Zusammenhang wäre es für eine vollständige Bewertung relevant gewesen zu untersuchen, ob der Doktorand schon vor dem *Girls' Day* Erfahrungen explizit in der Lehre mit Schülern oder jungen Studierenden gemacht hat. Insbesondere letzteres ist nicht auszuschließen. Die Wahrnehmung der Selbstwirksamkeit verbessert sich nach der Interventionsmaßnahme.

Doktorand KA

Der Doktorand KA empfand es als hilfreich, den theoretischen Hintergrund des Experiments sowie den Ablauf des *Girls' Days* im Workshop zu erfahren. Er hatte das Gefühl zu wissen, was auf ihn zukommt und kannte die Inhalte. Ein wahrgenommener Erfolg kann direkt aus den Ergebnissen nicht abgeleitet werden. Aus diesem Grund wird angenommen, dass keine *mastery experience* gemacht wurde. Die Gesamtwahrnehmung der Selbstwirksamkeit verschlechtert sich zudem marginal.

Doktorand BM

Der Doktorand BM hat nicht am vorbereitenden Workshop teilgenommen. Die Wahrnehmung der Selbstwirksamkeit verändert sich durch die Interventionsmaßnahme nicht.

6.2.6.2 Doktorandenbezogene Auswertung - Nacht der Wissenschaft

Doktorand IW

Der Doktorand IW hat sich auf die *Nacht der Wissenschaft* gefreut. Bereits vor der Intervention erreicht die Selbstwirksamkeitserwartung einen hohen Wert. Das kann durch den grundlegenden Optimismus der Wissenschaftskommunikationsmaßnahme gegenüber begünstigt worden sein (Egger, 2015, S. 44). Nach der Interventionsmaßnahme bleiben alle Werte mit Ausnahme eines einzelnen unverändert. Es ist anzunehmen, dass die positive Wahrnehmung sowohl vor als auch nach der Interventionsmaßnahme aus dem grundlegenden Optimismus der Wissenschaftskommunikationsmaßnahme gegenüber sowie aus der hohen Motivation resultiert. Ferner wird vom Doktoranden subjektiv die Begeisterung der Rezipienten durch die Kommunikation von Forschung wahrgenommen. Insgesamt kann dennoch eher nicht von einer *mastery experience* gesprochen werden, da sich nur ein Wert marginal positiv verändert und keine Äußerung zu wahrgenommenem Erfolg gemacht wurde.

Doktorand VL

Beim Doktoranden VL erreicht die Selbstwirksamkeitserwartung vor der Interventionsmaßnahme bereits einen hohen Wert. Er hat vor der *Nacht der Wissenschaft* Erfahrungen mit Wissenschaftskommunikation gemacht und machte auch während der aktuellen Maßnahme positive Erfahrungen. Die vorbereitenden Treffen waren hilfreich und haben die Teilnahme an der Wissenschaftskommunikationsmaßnahme für den Doktoranden VL erleichtert. Zum einen begünstigt die positive Einstellung zur Wissenschaftskommunikation als Ganzes die Entwicklung durch die Intervention (Schwarzer & Jerusalem, 2002, S. 36 ff., siehe Kapitel 2.3.3) und zum anderen bekräftigt der Workshop die Einstellung zur Teilnahme an der *Nacht der Wissenschaft*. Eine *mastery experience* kann angenommen werden, da sich die positive Wahrnehmung der Selbstwirksamkeit nochmals verbessert. Der Doktorand erhielt positive Kommentare zu seiner Forschung, was auf subjektiv wahrgenommenen Erfolg bei der Wissenschaftskommunikation hindeutet.

Doktorand SA

Die Wahrnehmung der Selbstwirksamkeit vom Doktoranden SA verändert sich durch die Intervention marginal negativ. Insgesamt ist die Wahrnehmung der Selbstwirksamkeit jedoch vor und nach der Intervention vergleichsweise hoch. Es ist davon auszugehen, dass der Doktorand subjektiv keine Erfolge wahrgenommen hat. Nur die Wahrnehmung des Mehrwertes der eigenen Forschung für die Gesellschaft verändert sich positiv hin zum ersten Grad der Zustimmung. Vermutlich wurde dieser im Dialog durch Nachfragen erkannt oder auch seitens des Publikums verbal vermittelt. Über die vorbereitenden Treffen macht er keine relevante Aussage.

Im folgenden Abschnitt werden die Daten der Doktoranden ausgewertet, die an beiden Interventionen teilgenommen haben.

Die Ergebnisse des Pre-Tests der *Nacht der Wissenschaft* stellen aufgrund der erlebten ersten Interventionsmaßnahme eine Handlungsergebniserwartung dar (siehe Kapitel 2.3.2). Die Doktoranden haben ihre Fähigkeiten, Forschung zu kommunizieren, bereits durch die vorausgegangene Wissenschaftskommunikationsmaßnahme antizipiert und schätzen auf dieser Grundlage das Gelingen der folgenden Wissenschaftskommunikationsmaßnahme ein (Egger, 2015, S. 45). Selbstwirksamkeitserwartung wird auf Basis der Überzeugung der eigenen Fähigkeiten konzipiert, während unter Einbeziehung von erlebten Erfolgen oder Misserfolgen die Handlungsergebniserwartung konzipiert wird (siehe Kapitel 2.3.2).

Doktorand SG

Nach beiden Interventionen steigt die Wahrnehmung der Selbstwirksamkeit des Doktoranden SG jeweils verhältnismäßig stark an. Die Handlungsergebniserwartung für die *Nacht der Wissenschaft* ist jedoch um ein Zehntel kleiner als der Wert der Wahrnehmung der Selbstwirksamkeit nach der ersten Intervention. Der Doktorand SG beschreibt die *Nacht der Wissenschaft* sehr positiv. In den vorausgegangenen Treffen hat er viel gelernt und konnte dies während der Wissenschaftskommunikationsmaßnahme umsetzen. Zudem empfindet er die partizipative Gestaltung der *Nacht der Wissenschaft* als den besten Weg, um Inhalte gemeinsam auszuarbeiten. Im Anschluss an die Wissenschaftskommunikationsmaßnahme macht er sich vermehrt Gedanken zur eigenen Forschung. Nach BOWATER UND YEOMAN erreicht der Doktorand damit ein Ziel von externer Wissenschaftskommunikation (2013, S. 13). Der

Doktorand SG konnte darüber hinaus subjektive Erfolge im Dialog mit dem Publikum wahrnehmen, da die Gesamtwahrnehmung der Selbstwirksamkeit nach der *Nacht der Wissenschaft* größer ist als vorher. Auch während des *Girls' Days* hat der Doktorand SG bereits subjektive Erfolge wahrnehmen können, indem er im vorbereitenden Workshop Konzepte erlernt hat, die er anschließend umsetzen konnte. Primär wurde durch den *Girls' Day* die konkrete Kommunikation mit den Schülerinnen beeinflusst, indem Konzepte verstanden und umgesetzt wurden. Durch die *Nacht der Wissenschaft* wurde primär die eigene Wahrnehmung im Umgang mit der Kommunikation von Fachinhalten zu Fachfremden beeinflusst. In beiden Fällen konnte eine *mastery experience* die Wahrnehmung der Selbstwirksamkeit erhöhen. Vermutlich hätten auch kleine Misserfolge während der *Nacht der Wissenschaft* an der Steigerung der Wahrnehmung der Selbstwirksamkeit wenig verändert, da bereits eine erfolgreiche Wissenschaftskommunikationsmaßnahme vorausgegangen ist. Es konnten bereits Hindernisse überwunden werden, wodurch sich immer mehr ein Gefühl für die eigene Selbstwirksamkeit entwickelt, das belastbar ist (Bandura, 1998, S. 2 f.; Schwarzer & Jerusalem, 2002, S. 42).

Doktorand KA

Der Doktorand KA erreicht für die Handlungsergebniserwartung vor der zweiten Intervention insgesamt einen Wert, der fast ein Zehntel größer ist als der der Wahrnehmung der Selbstwirksamkeit nach dem *Girls' Day*. Die *Nacht der Wissenschaft* beeinflusste vor allem die Kommunikation von Forschungsinhalten und die Einstellung dazu positiv, da der Doktorand KA das Interesse des Publikums wahrnehmen konnte und das als positive Erfahrung beschreibt. Im Anschluss an die Intervention machte er sich Gedanken über seine eigene Forschung. Ebenso wie bei Doktorand SG, weist das darauf hin, dass ein Ziel von externer Wissenschaftskommunikation erreicht wurde (Bowater & Yeoman, 2013, S. 13). Der Doktorand KA nahm während der *Nacht der Wissenschaft* subjektiv einen Erfolg wahr und machte eine *mastery experience*. Insgesamt verbessert sich die Wahrnehmung der Selbstwirksamkeit um die gleiche Differenz wie auch bei der ersten Intervention. Dadurch, dass die Werte der Handlungsergebniserwartung jedoch bereits höher liegen als die der Selbstwirksamkeitserwartung vor der ersten Intervention, lässt sich insgesamt ein positiver Trend feststellen.

Doktorand DM

Für die Handlungsergebniserwartung vor der zweiten Interventionsmaßnahme erreichte der Doktorand DM genau den gleichen Wert, den er auch für die Wahrnehmung der Selbstwirksamkeit nach der ersten Intervention erreichte. Dieser Wert ist vergleichsweise hoch und verglichen mit den beiden anderen Doktoranden, die an beiden Interventionen teilgenommen haben, der höchste. Er macht die Erfahrung, dass es schwieriger ist, mit Menschen über fachliche Inhalte zu sprechen, die nichts über das Feld wissen, als mit solchen, die sich im Feld auskennen. Die Einschätzung der eigenen Kommunikationsfähigkeit verschlechtert sich, wohingegen sie beim *Girls' Day* kontinuierlich positiv bewertet wird. Es wird vermutet, dass der Doktorand vor der ersten Intervention bereits Lehrerfahrungen beispielsweise mit Schülern gemacht hat. Die vorbereitenden Treffen bewertet er als positiv, da auf diese Weise alle Beteiligten mit den zu kommunizierenden Inhalten vertraut waren. Insgesamt verändert sich der bereits vor der Intervention vergleichsweise hohe Wert für die Wahrnehmung der Selbstwirksamkeit durch die zweite Interventionsmaßnahme nicht. Aus diesem Grund wird nicht von einer *mastery experience* ausgegangen.

6.2.6.3 Auswertung der Wissenschaftskommunikationstypen

Nachfolgend werden die Wissenschaftskommunikationstypen nochmals dargestellt und um die Doktoranden ergänzt, die an den Interventionsmaßnahmen teilgenommen haben (siehe Tabelle 6). Die Typen wurden basierend auf den Ergebnissen der Doktoranden in der Vorstudie induktiv gebildet (siehe Kapitel 6.1.4.2). Auf dieser Grundlage werden im Folgenden Aussagen darüber getroffen, inwiefern die beiden Maßnahmen die unterschiedlichen Wissenschaftskommunikationstypen in der Wahrnehmung ihrer Selbstwirksamkeit beeinflusst haben. Es wird versucht, eine Aussage über die Förderung zur Wissenschaftskommunikation jedes Typens zu machen. Vor dem Hintergrund der geringen Probandenanzahl werden ausschließlich Trends formuliert. Die Teilnahme der Doktoranden SG, KA und DM an beiden Interventionen wird anschließend im Kontext thematisiert und die Relevanz für die Ergebnisse der Auswertung bewertet.

Tabelle 6: Charakterisierung der Wissenschaftskommunikationstypen und Zuordnung der Doktoranden.

Typ	Charakterisierung	Doktoranden
Der Lernbereite	Der Lernbereite schätzt seine Kommunikationsfähigkeiten tendenziell schlecht ein. Gleichzeitig bewertet er das Konstrukt Wissenschaftskommunikation überwiegend positiv.	IO, SG, IW
Der Überzeugte	Der Überzeugte schätzt seine Kommunikationsfähigkeiten tendenziell gut ein und bewertet das Konstrukt Wissenschaftskommunikation überwiegend positiv.	IA, KA, VL
Der Befürworter	Der Befürworter bewertet das Konstrukt Wissenschaftskommunikation überwiegend positiv. Die eigenen Kommunikationsfähigkeiten schätzt er weder positiv noch negativ ein.	DM
Der Kritiker	Der Kritiker bewertet das Konstrukt Wissenschaftskommunikation überwiegend negativ. Die eigenen Kommunikationsfähigkeiten schätzt er tendenziell positiv ein.	-

Die beiden Doktoranden SA und BM konnten nicht zugeteilt werden, da sie zum Zeitpunkt der Vorstudie noch keine Mitglieder des Graduiertenkollegs waren.

Darüber hinaus ist auffällig, dass die Doktoranden vom Typ *Der Kritiker* nicht an den Interventionen teilgenommen haben. Es ist anzunehmen, dass das aus der Negativbewertung des Konstruktes Wissenschaftskommunikation resultiert.

Den anderen drei Wissenschaftskommunikationstypen konnte jeweils mindestens ein Doktorand zugeordnet werden. Zudem konnten die drei Doktoranden, die an beiden Interventionen teilgenommen haben, je einem unterschiedlichen Doktorandentyp zugeordnet werden.

Das ist auf der einen Seite hilfreich für einen direkten Vergleich, gleichzeitig wird das Ergebnis jedoch durch die Entwicklung von der ersten zur zweiten Intervention beeinflusst.

Der Lernbereite

Insgesamt ist der Lernbereite der Wissenschaftskommunikation sehr offen und positiv gegenüber eingestellt. Daher hat er schon vor den Interventionen eine verhältnismäßig hohe Selbstwirksamkeitserwartung und kann stark von den vorbereitenden Workshops profitieren. Er verinnerlicht die Informationen und setzt diese anschließend in der Wissenschaftskommunikationsmaßnahme um.

Im Hinblick auf die beiden Interventionen ist beim *Girls' Day* eine deutlich größere Entwicklung festzustellen als bei der *Nacht der Wissenschaft*. Beim *Girls' Day* macht der Lernbereite durchschnittlich eine *mastery experience*, während er diese in der *Nacht der Wissenschaft* nicht unbedingt erreicht.

Der Lernbereite möchte seine Kommunikationsfähigkeiten stärken. Der *Girls' Day* ist eine sehr gute Möglichkeit dazu, da durch die nicht-partizipative Konzeption (siehe Kapitel 6.2.3) weniger die Entwicklung der Inhalte als vielmehr deren Vermittlung fokussiert wird.

Darüber hinaus handelt es sich bei den Rezipienten des *Girls' Days* um Schülerinnen. Es ist anzunehmen, dass die Hemmschwelle zur Kommunikation auf diese Weise verringert und somit verstärkt kommuniziert wird. Das unterstützt den Lernprozess. Dem Lernbereiten wird durch die niedrighwellige Kommunikationssituation die Möglichkeit eines Erfolgserlebnisses und damit einer *mastery experience* gegeben.

Der Überzeugte

Insgesamt ist der Überzeugte der Wissenschaftskommunikation verhältnismäßig weniger positiv gegenüber eingestellt. Gleichzeitig lehnt er sie nicht vollständig ab.

Im Hinblick auf beide Interventionen entwickelt sich die Wahrnehmung der Selbstwirksamkeit des Überzeugten durch die *Nacht der Wissenschaft* wesentlich stärker als durch den *Girls' Day*. Im Durchschnitt macht der Überzeugte beim *Girls' Day* keine *mastery experience*. Bei der *Nacht der Wissenschaft* hingegen wird diese eher gemacht.

Der Überzeugte schätzt seine Kommunikationsfähigkeiten durchschnittlich als gut ein, während es zugleich einer Förderung derselben bedarf. Es ist wahrscheinlich, dass das Konzept des *Girls' Days* den Überzeugten unterfordert. Die vorgefertigten Inhalte müssen lediglich reproduziert werden. Auch die Rezipientengruppe stellt keine große Herausforderung für den Überzeugten dar. Aus diesem Grund kann auch nur schwer eine auf ein Erfolgserlebnis

aufbauende *mastery experience* gemacht werden. Aus diesem Grund ist die Entwicklung des Überzeugten durch die *Nacht der Wissenschaft* stärker. Die Herausforderung ist größer, da die Konzeption partizipativ gestaltet ist und das Publikum durch die breite Öffentlichkeit abgebildet wird. Der Überzeugte muss mitarbeiten und während der Wissenschaftskommunikationsmaßnahme flexibel reagieren. Diese Kombination schafft für den Überzeugten die Möglichkeit zu Erfolgserlebnissen und zur *mastery experience*.

Der Befürworter

Der Befürworter kann tendenziell durch beide Interventionen eine *mastery experience* erfahren und seine Selbstwirksamkeit steigern.

Da der Befürworter seine eigenen Kommunikationsfähigkeiten nicht differenziert einschätzen kann, eignet sich der *Girls' Day* unter Umständen besser als Wissenschaftskommunikationsmaßnahme als die *Nacht der Wissenschaft*. In diesem Aspekt ähnelt der Befürworter dem Lernbereiten. Für den Befürworter ist es wahrscheinlich am zielführendsten an beiden Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen nacheinander teilzunehmen. Auf diese Weise identifiziert er gleichzeitig, wie stark seine Kommunikationsfähigkeiten gefördert werden müssen. Erfolgt beim *Girls' Day* keine *mastery experience*, so sind die Herausforderungen für den individuellen Befürworter unter Umständen nicht groß genug gewesen. Bei einer anschließenden Teilnahme an der *Nacht der Wissenschaft* wird das subjektive Wahrnehmen eines Erfolges und somit auch das Erleben einer *mastery experience* wahrscheinlicher.

Der Doktorand SG wird zum Doktorandentyp Der Lernbereite gezählt. Nach beiden Interventionen steigt die Wahrnehmung der Selbstwirksamkeit ähnlich stark an. Aus diesem Grund beeinflusst er die generelle Aussage über den Lernbereiten sehr wenig bis überhaupt nicht. Der Doktorand KA wird zum Doktorandentyp Der Überzeugte gezählt. Nach beiden Interventionen steigt die Wahrnehmung der Selbstwirksamkeit äquivalent an. Er beeinflusst die generelle Aussage über den Überzeugten nicht. Der Doktorand DM ist der Einzige, der dem Doktorandentyp *Der Befürworter* zugeordnet werden konnte. Aus diesem Grund beeinflusst er die Aussage über den Befürworter stark, da er als Prototyp gilt. Für alle Wissenschaftskommunikationstypen, insbesondere aber für den Befürworter, wäre es

zielführend, ihnen weitere Doktoranden zuzuordnen, um die Bedürfnisse der einzelnen Typen expliziter definieren zu können.

Auch Doktoranden des Typs Der Kritiker müssten überzeugt werden, an den Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen teilzunehmen, um die Anforderungen dieses Typs daraus ableiten zu können.

6.2.6.4 Maßnahmenbezogene Auswertung

Nachfolgend werden die qualitativen Ergebnisse der beiden Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen *Girls' Day* (siehe Anhang 8.3.6) und *Nacht der Wissenschaft* (siehe Anhang 8.3.8) tabellarisch ausgewertet (siehe Tabelle 7, Tabelle 8).

Anschließend wird dargestellt, inwiefern der Workshop in Vorbereitung auf den *Girls' Day* Einfluss auf die eigentliche Wissenschaftskommunikationsmaßnahme genommen hat. Ferner wird erläutert, welche Erfahrungen die Doktoranden durch die *Nacht der Wissenschaft* gemacht haben und wie sie die vorbereitenden Treffen bewerten.

Tabelle 7: Auswertung der Ergebnisse in Bezug auf die Wissenschaftskommunikationsmaßnahme *Girls' Day*.

Kategorie	Ankerbeispiel	Anzahl
Relevanz des Workshops (...)		
(...) für das Erlernen von Kommunikationstechniken.	A good way to search for simple approaches to explain complex reactions/systems. <i>Doktorand (KA)</i>	5
(...) für das Verständnis der theoretischen Hintergründe des Experiments.	The theoretical background provided by the slides was therefore useful. <i>Doktorand (IO)</i>	2
(...) um die Rahmenbedingungen zu kennen.	It helped to understand (...) and the program of the Girls' Day. <i>Doktorand (KA)</i>	2
(...) um das Experiment zu erproben und die kritischen Aspekte zu identifizieren.	It was important to do the experiment in the training with Lena, since from the training we could see what types of problems/ mistakes the Girls' Day could face in the day. <i>Doktorand (SG)</i>	5

Tabelle 8: Auswertung der Ergebnisse in Bezug auf die Wissenschaftskommunikationsmaßnahme *Nacht der Wissenschaft*.

Kategorie	Ankerbeispiel	Anzahl
Erfahrungen		
Positive Erfahrung durch Gespräche über Wissenschaft mit Öffentlichkeit.	It was an amazing experience to have contact to different people, some of them with no experience in science and other ones with more experience in science. <i>Doktorand (SG)</i>	3
Positive Erfahrung durch interessiertes Publikum.	It felt good, people were really interested and enjoyed it. <i>Doktorand (IW)</i>	4
Erfahrung, dass es nicht trivial ist, der Öffentlichkeit die Inhalte zu vermitteln.	Describing the very basics was much more difficult than describing something to people who know at least a little bit. <i>Doktorand (DM)</i>	2
Austausch mit Öffentlichkeit eröffnet neue Sicht auf eigene Forschung.	It was interesting (...), because we have another view on our topics as we deal with them for some time now <i>Doktorand (DM)</i>	2
Vorbereitende Workshops		
Vorbereitende Treffen sinnvoll, um gemeinsam einen Konsens über die Inhalte zu kreieren.	It was extremely important to be part of the preceded meeting, since there we could share between us the best way to explain the topics <i>Doktorand (SG)</i>	3
Vorbereitende Treffen geben ein gutes Gefühl im Hinblick auf die Teilnahme an der NdW.	This helped (...) and to feel better about the night of science. <i>Doktorand (KA)</i>	3

Es wird deutlich, dass für den *Girls' Day* der vorausgegangene Workshop insbesondere für das Erlernen von Kommunikationstechniken relevant war. Gleiches gilt für das Erproben des Experimentes, welches die Möglichkeit dargestellt hat, die kritischen Aspekte des Experiments kennenzulernen, um mit diesen während des *Girls' Days* umgehen zu können. Die theoretischen Inhalte, sowie die exakte Planung waren weniger relevant, wurden jedoch ebenfalls benannt. Im Hinblick auf die Kommunikationstechniken und das Experiment kann daraus geschlussfolgert werden, dass beides die jeweils größere Hürde war und somit den stärkeren Einfluss auf die Selbstwirksamkeit hatte. Für eine nicht-partizipative Gestaltung einer Wissenschaftskommunikationsmaßnahme scheint ein vorbereitendes Treffen unbedingt notwendig, insbesondere dann, wenn ein zuvor unbekanntes Experiment realisiert werden soll. Hinsichtlich der vorbereitenden Treffen der *Nacht der Wissenschaft* wurde genannt, dass diese ein gutes Gefühl im Hinblick auf die Wissenschaftskommunikationsmaßnahme selbst gegeben haben. Gleichmaßen wurde erwähnt, dass es zielführend war, gemeinsam Inhalte zu

entwickeln, um einen Konsens für die *Nacht der Wissenschaft* zu schaffen. Im Hinblick auf die Kommunikationsmaßnahme selbst wurde vor allem die positive Erfahrung durch den Austausch mit dem interessierten Publikum geäußert. Dabei wurde sogar eine neue Sicht auf die eigene Forschung kreiert. Es wurde auch die Erfahrung gemacht, dass es nicht trivial ist, die eigenen Forschungsinhalte mit der Öffentlichkeit zu teilen. Für beide Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen hat die Vorbereitung eine wesentliche Rolle gespielt.

Hinsichtlich der positiven Erfahrungen wurden diese insbesondere durch das gespiegelte Interesse des Publikums gemacht. Es wurden jedoch auch positive Erfahrungen durch die allgemeinen Gespräche mit der Öffentlichkeit gesammelt. Außerdem wurde erkannt, dass es nicht einfach ist, einem heterogenen Publikum die Inhalte der eigenen Forschung zu vermitteln. Zweimal wurde auch erwähnt, dass der Austausch mit der Öffentlichkeit zum Nachdenken über die eigene Forschung angeregt hat. Die vorbereitenden Treffen hatten zum einen den Effekt, dass es einen Konsens über die Inhalte gab und zum anderen erhielten die Doktoranden ein gutes Gefühl im Hinblick auf die *Nacht der Wissenschaft*.

6.2.7 Wissenschaftskommunikation in naturwissenschaftlichen Forschungsverbänden

Nachfolgend wird basierend auf den bisher dargestellten Ergebnissen in Bezug auf die Wissenschaftskommunikationstypen sowie basierend auf den Erfahrungen der Autorin diskutiert, welche Aspekte bei der Erstellung eines Konzepts zur Wissenschaftskommunikation in naturwissenschaftlichen Forschungsverbänden relevant sein können. Der Fokus des Konzeptes liegt auf der Förderung der Doktoranden.

Die Autorin schließt dazu von dem Graduiertenkolleg, in dem sie tätig war, auf andere Forschungsverbände der Naturwissenschaften. Darüber hinaus legt sie den Fokus auf die Maßnahmen in einem solchen Konzept, die von den Doktoranden selbst umgesetzt werden können und nicht auf solche, die von externen Dienstleistern übernommen werden.

Wissenschaftskommunikation in naturwissenschaftlichen Forschungsverbänden begegnet auf der einen Seite einigen Herausforderungen, während sie sich auf der anderen Seite sehr vieler Besonderheiten bedienen kann. In erster Linie sind naturwissenschaftliche Forschungsverbände sehr heterogen. Aufgrund der vielen verschiedenen Disziplinen, die in einem Forschungsverbund zusammenkommen, werden für die Wissenschaftskommunikation sehr

viele Möglichkeiten der Kommunikation von forschungsverbundbezogenen Inhalten eröffnet. Gleichzeitig gehen mit der Vielfalt der teilnehmenden Disziplinen und somit der vielen Individuen auch einige Meinungsverschiedenheiten über die Gewichtung einzelner Themen einher. Wenn die Wissenschaftskommunikation im Forschungsverbund als Aufgabe aller Beteiligten aufgefasst wird, kann dies eine Herausforderung darstellen. Zugleich haben Forschungsverbände aufgrund der verschiedenen miteinander kooperierenden Disziplinen die Möglichkeit, die *Nature of Science* (Reiners & Saborowski, 2017, S. 77 ff.) bestmöglich darzustellen.

Die größte Besonderheit naturwissenschaftlicher Forschungsverbände, die sie auch von anderen Forschungsverbänden unterscheidet, sind die Experimente und die daraus hervorgehenden Daten. Diese können je nach Forschungsbereich visuell sehr eindrucksvoll sein. Darüber hinaus können die Experimente in originaler oder in abgewandelter Form für die Wissenschaftskommunikation eingesetzt werden. Experimente wecken die Neugier der Öffentlichkeit. Ferner sind die Doktoranden eines naturwissenschaftlichen Forschungsverbundes in der Regel mit dem Experimentieren vertraut. Insbesondere aus diesem Grund sollte das Experiment zur Förderung der Wissenschaftskommunikation der Doktoranden im Konzept für verschiedene Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen etabliert werden. In der vorliegenden Studie wurde es beim *Girls' Day* eingesetzt. Es konnte gezeigt werden, dass die Doktoranden mit einer erhöhten Anforderung an die Förderung ihrer Kommunikationsfähigkeit beim *Girls' Day* besonders erfolgreich waren.

Darüber hinaus sollte es in einem Konzept zur Wissenschaftskommunikation an einem Punkt die Möglichkeit geben, dass die Doktoranden aller Disziplinen ihre Forschung, sowohl die Methoden als auch die Ergebnisse, sinnvoll und differenziert zusammentragen. Auch das konnte im Rahmen der vorliegenden Studie gezeigt werden. Das fördert nicht nur die Wissenschaftskommunikationskompetenz der Doktoranden, sondern gleichermaßen auch den Austausch untereinander. Es ist wahrscheinlich, dass dieser Austausch auch das Verständnis füreinander stärkt. Diese Art der Wissenschaftskommunikationsmaßnahme verdeutlicht den unterschiedlichen Disziplinen im besten Fall nochmal, wie die jeweils anderen arbeiten und sensibilisiert die Doktoranden für die unterschiedlichen Arbeitsweisen. So wird im Idealfall auch die interne Wissenschaftskommunikation gestärkt. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnte nicht gezeigt werden, welche Vorteile ein asynchrones Wissenschaftskommunikationsformat bietet. Es ist anzunehmen, dass ein solches die anderen beiden Formate sinnvoll ergänzen würde. Im Hinblick auf die Doktoranden und deren Teilnahme an den verschiedenen Maßnahmen ist es zwingend erforderlich, dass jeder einzelne

zu Beginn seiner Zeit im Graduiertenkolleg einen Fragebogen ausfüllt, der es ermöglicht, das derzeitige Kommunikationsprofil zu ermitteln. Rekurrierend auf die vorliegende Studie sollen die Doktoranden perspektivisch einem Doktorandentyp zugeordnet werden können, der eine Aussage über die ideale Förderung eines jeden Doktoranden macht. Zudem soll auf diese Weise ein Bewusstsein für den eigenen Wissenschaftskommunikationstypen geschaffen werden. Auf dieser Grundlage kann jeder Doktorand individuell bestmöglich gefördert werden. Aus der vorliegenden Studie geht hervor, dass es Typen gibt, die zwangsläufig an einer bestimmten Wissenschaftskommunikationsmaßnahme teilnehmen sollten, während es andere gibt, die freier in der Auswahl sind. Es gibt beispielsweise Doktoranden, die sich bereits als gut in der Kommunikationsfähigkeit einschätzen, diese müssen anders gefördert werden als solche, die sich schlecht einschätzen. Die erstgenannten Typen können beispielsweise durch kreative Prozesse mit großem Eigenanteil in der Wahrnehmung der Selbstwirksamkeit gestärkt werden. Perspektivisch wäre es unbedingt sinnvoll auch den vorgestellten audiovisuellen dritten Typ der Wissenschaftskommunikationsmaßnahme anzubieten. Durch das asynchrone Format könnten weitere Typen bestmöglich gefördert werden. Es ist anzunehmen, dass basierend auf dem Fragebogen, der zu Beginn ausgefüllt werden muss und einer regelmäßigen Evaluation die Selbstwirksamkeit und die daraus erwachsende Handlungsergebniserwartung sehr gut gefördert werden kann.

Es ist weder möglich noch notwendig, die Angebote der Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen sukzessive aufeinander aufbauend anzubieten, da jeder Doktorand ein individuelles Konzept benötigt, welches er im Verlauf seiner Promotionszeit durch regelmäßiges Evaluieren selbst erstellen kann. Zielführend ist es, verschiedene Angebote alternierend anzubieten, um allen Doktoranden regelmäßig die Gelegenheit zur Teilnahme zu ermöglichen. Die einzelnen Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen sollten idealerweise so aufgebaut sein, wie die Interventionen in der vorliegenden Studie. Vorbereitende Treffen sollten immer bedarfsorientiert eingeplant werden und obligatorisch sein.

Die dargestellten Aspekte sind erste Ideen und Anhaltspunkte für ein Konzept zur Wissenschaftskommunikation in naturwissenschaftlichen Forschungsverbänden, die sowohl aus den Ergebnissen, als auch aus der Erfahrung der Autorin konstituiert wurden.

Im Kapitel *Resultierende Fragestellungen* (siehe Kapitel 6.2.9) wird vertiefend darauf eingegangen, welche Aspekte, die allein aus der vorliegenden Arbeit abgeleitet wurden, noch

untersucht werden müssen, um perspektivisch eine Wissenschaftskommunikationsstrategie zu erstellen.

6.2.8 Beantwortung der Forschungsfrage

Nachfolgend wird die Forschungsfrage in Form einer Zusammenfassung beantwortet, um anschließend weiterführende Fragestellungen daraus abzuleiten.

Inwiefern wird die Selbstwirksamkeit der Doktoranden des Graduiertenkollegs ModISC durch die entwickelten Interventionsmaßnahmen, in Form von verschiedenen Angeboten zur Wissenschaftskommunikation, beeinflusst?

Die Selbstwirksamkeitserwartung der Doktoranden des Graduiertenkollegs ModISC wird durch die verschiedenen Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen auf unterschiedliche Art und Weise beeinflusst. Beide untersuchten Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen legen verschiedene Schwerpunkte, zum einen durch die jeweilige Konzeption der Entwicklung der Inhalte und zum anderen durch das sich unterscheidende Publikum. Insgesamt steigert der *Girls' Day* die Gesamtzustimmung zu den Items, die die Selbstwirksamkeit beschreiben, um zwei Prozentpunkte, während die *Nacht der Wissenschaft* diese nur um einen Prozentpunkt steigert. Zudem ist die Gesamtzustimmung zu den Items bei der *Nacht der Wissenschaft* schon vor der Maßnahme um drei Prozent höher im Vergleich zu der des *Girls' Days*. Da die Pre-Fragebögen jeweils am Ende der Vortreffen ausgegeben wurden, ist es nicht auszuschließen, dass die Doktoranden bereits positiv durch die Möglichkeit der Partizipation und die ersten Überlegungen beeinflusst waren. Beide Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen hatten einen durchschnittlich positiven Einfluss auf die Selbstwirksamkeit der Doktoranden und somit auch auf deren Handlungsergebniserwartung, was insbesondere aus den Daten der Doktoranden hervorgeht, die an beiden Maßnahmen teilgenommen haben. Die Ergebnisse zeigen, dass das Konstrukt Selbstwirksamkeit als Ganzes mehr oder weniger stark durch beide Maßnahmen beeinflusst wird. Um eine Aussage über den Schwerpunkt der Förderung machen zu können, muss die Stichprobe um weitere quantitative sowie qualitative Daten erweitert werden. Darüber hinaus ist die Förderung der Selbstwirksamkeit für jeden Doktoranden sehr individuell. Es wurde herausgestellt, dass eine Korrelation zwischen den vorausgegangenen Erfahrungen und der

Selbstwirksamkeit jedes einzelnen wahrscheinlich ist. Daraus resultiert weiter, dass nicht in jedem Fall zwangsläufig die Selbstwirksamkeitserwartung, sondern gegebenenfalls bereits eine Handlungsergebniserwartung (siehe Kapitel 2.3.2) erhoben wird, je nach Vorerfahrungen zum Zeitpunkt der ersten Intervention innerhalb des Graduiertenkollegs. Der Einfluss der vorausgehenden Vorbereitungstreffen variiert genauso wie die unter Umständen vorausgegangenen Erfahrungen. Das wirkt sich auf die Selbstwirksamkeit des einzelnen aus. Auch die eigene Bereitschaft zu lernen und das Gelernte anzuwenden, sowie sich auf die Wissenschaftskommunikationsmaßnahme einzulassen und die intrinsische Motivation zur Teilnahme an der Maßnahme, beeinflussen die Selbstwirksamkeit. Diese ist bildhaft gesprochen wie ein Mosaik, das sich aus vielen verschiedenen, sehr individuellen Aspekten zusammensetzt. Der Einfluss einer Wissenschaftskommunikationsmaßnahme auf die Selbstwirksamkeit eines einzelnen ist nicht allein von der Maßnahme selbst abhängig, sondern darüber hinaus auch von der Vorbereitung auf die Maßnahme sowie von den eigenen intrinsischen Überzeugungen und den im Laufe der Ausbildung erworbenen Schlüsselqualifikationen, wie beispielsweise der Lernbereitschaft. Im Rahmen der Studie wird deutlich, dass das psychologische Konstrukt Selbstwirksamkeit sehr facettenreich und somit individuell ist. Die Doktoranden werden durch die Interventionsmaßnahmen in verschiedenen Aspekten gefördert. Es wurde deutlich, dass die Gestaltungsform und insbesondere die Möglichkeit des Umgangs mit dem Publikum einen maßgeblichen Einfluss auf die Entwicklung der Selbstwirksamkeit hat. Durch die während der Maßnahme jeweils subjektiv wahrgenommenen Erfolge und auch Misserfolge konstituiert sich daraus eine vage Handlungsergebniserwartung. Für die Steigerung der Selbstwirksamkeit im Rahmen eines Konzeptes zur Wissenschaftskommunikation kann die von Bandura im Kontext der *Quellen zur Entwicklung der Selbstwirksamkeitserwartung* beschriebene *mastery experience* (Bandura, 1998, S. 2) in Betracht gezogen werden. Sie kann Einfluss auf die Entwicklung der Selbstwirksamkeit nehmen, wenn die Rahmenbedingungen für jeden Doktoranden individuell ideal sind.

6.2.9 Resultierende Fragestellungen

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit ergeben sich weitere Fragestellungen, die im Rahmen weiterer Forschung zum Einsatz von Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen beantwortet werden müssen, um perspektivisch eine universelle Strategie zur Umsetzung von

Wissenschaftskommunikation in Forschungsverbänden zu entwickeln. Insbesondere, da sich im Rahmen dieser Arbeit die Forschung in Bezug auf die zweite Wissenschaftskommunikationsmaßnahme aus der zur ersten Maßnahme entwickelt hat. Im Sinne des explorativen Forschungsansatzes wurden relevantere Aspekte von den weniger relevanten Aspekten des ersten Forschungsschrittes separiert und die Erhebung im Kontext der *Nacht der Wissenschaft* adaptiert. Es resultieren neue Forschungslücken für beide Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen aus diesem Vorgehen. Darüber hinaus existiert die Forschungslücke zu einer autonom gestalteten Maßnahme noch immer. In dieser Studie war zu einer ersten Analyse der Forschungslücke das Videoprojekt entworfen worden, welches nicht evaluiert werden konnte. Aus der vorliegenden Studie geht hervor, dass sich die Selbstwirksamkeit durch das sukzessive Durchführen der *Nacht der Wissenschaft*, einer Maßnahme, die auf partizipativer Gestaltung beruht, nach dem *Girls' Day*, einer nicht-partizipativen Maßnahme, in der Tendenz verbessert, wenn die Anforderungen an eine Förderung der Kommunikationsfähigkeit hoch sind. Es ist fraglich, inwiefern die Abfolge der unterschiedlichen Gestaltungen der Maßnahmen, die verschiedenen Zusammenstellungen des Publikums sowie die Kombination beider Parameter die Entwicklung der Wahrnehmung der Selbstwirksamkeit beeinflusst. Möglich ist, dass die Selbstwirksamkeit durch aufeinander folgende Maßnahmen mit gleichen oder vergleichbaren Zielen bei tendenziell mehr Erfolg als Misserfolg in beiden Maßnahmen unabhängig von deren Reihenfolge verbessert wird. Darüber hinaus werfen hohe Zustimmungswerte für die Items, die schon vor der Interventionsmaßnahme erhoben wurden, die Frage auf, woraus diese resultieren können. Aus diesem Grund erscheint es sinnvoll, nach Vorerfahrungen und -kenntnissen zu fragen. Das zeigt auch das Ergebnis von Doktorand IO in der offenen Befragung zum *Girls' Day*, in der angegeben wird, dass bereits als Schüler am *Girls' Day* teilgenommen wurde (siehe Anhang 8.2). Das beeinflusst das Ergebnis des Doktoranden IO gegebenenfalls beträchtlich. Es wäre ebenso naheliegend nach der individuellen Einschätzung der unter Umständen vorhandenen Vorerfahrungen auf die eigene Person zu fragen, um die oben erwähnte Möglichkeit der Erhebung einer Handlungsergebniserwartung von der einer Selbstwirksamkeitserwartung abzugrenzen. In Bezug auf den *Girls' Day* stellt sich darüber hinaus die Frage, inwiefern das dort eingesetzte, den Doktoranden auferlegte Experiment die Erfahrung während der Wissenschaftskommunikationsmaßnahme beeinflusst. Es wäre zielführend, transparent und offen danach zu fragen, ob ein anderes Experiment die Umsetzung der Maßnahme erleichtert hätte. Diese Überlegung ergibt sich aus der detaillierteren offenen Befragung in Bezug auf die *Nacht der Wissenschaft* (siehe Anhang 8.2). Zur Entwicklung alternativer Experimente wurden

im Rahmen der vorliegenden Studie vor den pandemiebedingten Einschränkungen erste Kooperationen begonnen. Es wurde beispielsweise erfolgreich ein Iridium-Komplex in die OLED von BANERJI (2012) eingebaut und es fand ein erster Austausch zur Entwicklung von theoretischem Begleitmaterial in Form von Berechnungen der Energiezustände eines in der Tausch-Gruppe entwickelten Esculin-Experimentes (Meuter, 2018, S. 34 ff.) statt.

Auf diese Weise konnte gezeigt werden, dass perspektivisch die Entwicklung von Experimenten unter Einbezug der eigenen Forschungsergebnisse der Doktoranden möglich ist. Ferner stellt sich im Zusammenhang mit den Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen die Frage, inwiefern die Doktoranden durch die explizite Kommunikation beim *Girls' Day* beeinflusst wurden. Für die *Nacht der Wissenschaft* haben sie von den positiven Erfahrungen im Kontext mit der Kommunikation mit dem dortigen Publikum berichtet. Um die beiden Maßnahmen in dieser Hinsicht miteinander vergleichen zu können, ist die Kenntnis über die beim *Girls' Day* gemachten Erfahrungen erforderlich. Für beide Interventionsmaßnahmen wurden die vorbereitenden Treffen als sinnvoll erachtet. Im Rahmen der nicht-partizipativen Gestaltung wurde das Kennenlernen des Experiments und der Inhalte als relevant erwähnt, während für die partizipative Gestaltung erwähnt wurde, dass es Sicherheit gegeben hat, vorher gemeinsam ein Konzept zu erstellen. Eine vertiefte Analyse des Aspekts der Partizipation ist notwendig, um herauszustellen, ob Partizipation zwangsläufig zu einer Verbesserung der Selbstwirksamkeit führt oder ob diese eine gleichwertige Alternative zur nicht-partizipativen Gestaltung darstellt. Darüber hinaus leitet sich aus der partizipativen Erstellung der Inhalte für die *Nacht der Wissenschaft* ab, dass diese den Doktoranden die Möglichkeit bietet, die Forschung der anderen Doktoranden des Graduiertenkollegs und unter Umständen auch die Bedeutung und die Zusammenhänge für die Ergebnisse des gesamten Kollegs vertiefend zu verstehen. Es wäre interessant zu evaluieren, ob die gemeinsame Erstellung von Kommunikationsmaterial auch die interne Wissenschaftskommunikation und nicht nur das offensichtliche und primäre Ziel der externen Wissenschaftskommunikation (siehe Kapitel 2.2.1) fördert. Ebenfalls ist das bereits erwähnte Videoprojekt vor dem Hintergrund aller genannten Aspekte zu analysieren. Insbesondere muss ein Vergleich, sowie eine erste Einschätzung zu dessen Einsatz im Kontext aller Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen mit verschiedenem Publikum und durch unterschiedliche Gestaltung ermöglicht werden. Darüber hinaus müssen die Gestaltung sowie der Zusammenhang von subjektiv wahrgenommenem Erfolg der Kommunikationsmaßnahme und dem jeweiligen Publikum tiefergehend evaluiert werden, indem die offenen Fragen daran ausgerichtet werden. Es wird deutlich, dass diese Studie weiterführende Fragestellungen aufwirft, zu deren Beantwortung im

Optimalfall eine obligatorische Teilnahme jedes Doktoranden an mindestens zwei Angeboten zur Wissenschaftskommunikation erfolgen müsste. Das psychologische Konstrukt der Selbstwirksamkeit ist sehr facettenreich und es erscheint sinnvoll den Doktoranden eines Forschungsverbundes in jedem Fall verschiedene Angebote zur Wissenschaftskommunikation zu ermöglichen.

6.2.10 Methodenreflexion

Nachfolgend werden die in dieser Arbeit angewandten Methoden im Kontext der Gesamtsituation reflektiert, da „[...] die Reflexivität des Forschers über sein Handeln und seine Wahrnehmungen im untersuchten Feld als wesentlicher Teil der Erkenntnis [...] verstanden wird“ (Flick et al., 2013, S. 23). Darüber hinaus werden auch die Methoden selbst reflektiert. Es wird zuerst auf die Methoden in der Vorstudie eingegangen, bevor die der Hauptstudie diskutiert werden. Die Erhebung in der Vorstudie wurde anhand eines Fragebogens mit einer vierstufigen Likert-Skala durchgeführt, indem Items aus den von JULIA GANTENBERGS Studie abgeleiteten Thesen entwickelt wurden. Das Ableiten der Items aus den Thesen erscheint als eine sinnvolle Herangehensweise an die Problemstellung, da in der vorausgegangenen Studie primär Wissenschaftler in höheren akademischen Stufen befragt wurden. Auf diese Weise konnte gezeigt werden, inwiefern die Einstellungen der Doktoranden in der vorliegenden Studie mit denen der Wissenschaftler in der anderen Studie konvergieren.

Es wurde jedoch auf eine fünfstufige Skala verzichtet, um die Tendenz zur Mitte bei Unsicherheit zu vermeiden und eine Antworttendenz zu erzwingen. Das kann zur Verzerrung der Ergebnisse geführt haben, da angenommen werden kann, dass die Doktoranden zum ersten Mal intensiver über das Konstrukt der Wissenschaftskommunikation nachdachten und dieses in den Kontext der eigenen Person setzen mussten. In der Tendenz wurde bei Unsicherheit vermutlich die zustimmende Stufe ausgewählt. Um dieser Problematik zu begegnen, wäre es sinnvoll gewesen eine Stufe im Fragebogen anzugeben, die die Möglichkeit, keine Einschätzung geben zu müssen, inkludiert. Die Umsetzung als online-Fragebogen war zielführend, da die Doktoranden die Möglichkeit hatten asynchron und somit nahezu unabhängig von ihrem Laboralltag an der Beantwortung zu arbeiten. Gleichmaßen wurden Daten erhoben, die die Hauptstudie stützen konnten. Für die letztgenannte eignete sich der Fragebogen im Pre-Post-Design. Insbesondere im Hinblick auf die Zeit- sowie die Organisationskomponente der Doktoranden wurde diese Methode als effizienteste

herausgestellt. Der Einsatz von Interviews hätte die qualitativen Daten über die offenen Fragen hinaus sinnvoll ergänzen können. Das Durchführen von Interviews wurde von der Autorin nicht für umsetzbar erachtet, da die mangelnde Zeit für die eigene Forschung durch zusätzliche Aufgaben im Rahmen des Qualifizierungsprogramms permanent innerhalb der Doktorandengruppe diskutiert wurde. Auch die in der Forschungsmethodik zur Hauptstudie (siehe Kapitel 6.2.2) erwähnte teilnehmende Beobachtung hätte die Ergebnisse sowohl triangulieren als auch vertiefen können, um weitere Hintergründe für Bewertungen der Doktoranden zu erörtern. Objektive Beobachtungen waren aus forschungspragmatischen Gründen nicht möglich, da die Autorin der Arbeit gleichzeitig anleitende und entwickelnde Aufgaben im Rahmen der Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen sowie forschende Aufgaben hinsichtlich der Ergebnisse übernommen hat. Dadurch, dass sowohl die Räumlichkeiten während der Vorbereitung auf die Maßnahmen, als auch die Orte, an denen die Maßnahmen durchgeführt wurden, variierten und es keine weitere Person gab, die permanent anwesend war, um entweder die Anleitung oder die Erhebung zu unterstützen, wurde die Datenerhebung weitestgehend auf die Fragebogen-Methode eingeschränkt. Zugleich darf nicht unerwähnt bleiben, dass die Autorin sich im Rahmen des Graduiertenkollegs in der gleichen Situation befunden hat, wie die untersuchten Doktoranden. Damit geht einher, dass sie selbst an den weiteren Angeboten des Graduiertenkollegs, die nicht im Zusammenhang mit denen zur Wissenschaftskommunikation standen teilgenommen hat, und unmittelbar Teil der eigenen Forschung war. Auf der einen Seite ist sie Anleiterin und forscht und auf der anderen Seite wird sie selbst angeleitet in anderen Aspekten des Qualifizierungsprogrammes. Aus diesem Grund kann keine Aussage darüber getroffen werden, inwiefern sich die Doktoranden während der Wissenschaftskommunikation wirklich angeleitet gefühlt haben, oder ob die Situation tendenziell eher wie die Zusammenarbeit mit einer Kollegin wahrgenommen wurde. Das beeinflusst die Veränderung der Selbstwirksamkeit wahrscheinlich marginal, ist jedoch relevant für den Wunsch nach Anleitung während der Maßnahmen, der sich in der Vorstudie herausstellte (siehe Kapitel 6.1.4.1). Zugleich konnte die Autorin aufgrund der besonderen Situation ihrer Personalunion Meinungen und Stimmungen wahrnehmen und darauf reagieren. Da diese Reaktionen retrospektiv erkannt wurden, in der betreffenden Situation jedoch intuitiv erfolgten, fehlen diese Daten in der Analyse des gesamten Projektes. Ganz sicher spielt auch der Aspekt der Beziehungen der Doktoranden untereinander eine Rolle. Innerhalb der drei Jahre, in denen das Projekt entwickelt und durchgeführt wurde, haben alle beteiligten Doktoranden sehr viel Zeit miteinander verbracht und es hat sich auf natürliche Weise eine Gruppe gebildet. Das ist nicht zu vernachlässigen, da die Teilnahme an den

Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen selbstverständlich auch durch die Gruppendynamik geprägt war. Das wird allein dadurch deutlich, dass Doktoranden, die auch in anderen Kontexten verstärkt mit der Autorin zusammenarbeiteten tendenziell eher an den Maßnahmen teilnahmen. Der Aspekt der sozialen Erwünschtheit spielt sehr stark in die Daten und in die gesamte Entwicklung des Projektes hinein. Diese wurde versucht in den Fragebögen und den Anschreiben durch neutrale Formulierungen zu minimieren. Letztendlich wurde auf sehr vielen verschiedenen Ebenen, wie beispielsweise in unterschiedlichen Workshops, in mehrtägigen Retreats oder während anschließenden Abendveranstaltungen sehr viel miteinander interagiert, sodass auch die größtmögliche Neutralität mit großer Wahrscheinlichkeit nicht erhalten bleiben konnte. Zugleich ist dieser Aspekt dem Konstrukt Forschungsverbund inhärent und lässt sich perspektivisch in Forschung derselben Art nicht gänzlich vermeiden. Selbst dann, wenn die Forschenden eine andere akademische Stufe haben als die partizipierenden Doktoranden, so handelt es sich bei einem Forschungsverbund um ein Konstrukt aus miteinander interagierenden Wissenschaftlern, dessen Ziel ein weitreichender Austausch ist. Es ist jedoch anzunehmen, dass diese Auswirkungen des sozialen Miteinanders auf die Daten und die Ergebnisse der vorliegenden Studie eher positiver Art sind. Dadurch, dass die Autorin Teil der Doktorandengruppe war, wurden die Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen primär gut angenommen und es wurde iterativ ins Bewusstsein der Doktoranden gerufen, wie relevant Wissenschaftskommunikation für das gesamte Graduiertenkolleg ist. Sie konnten sich offen und frei äußern und ihre Meinung zu den geplanten Maßnahmen kundtun, ohne Angst vor möglichen Auswirkungen auf die eigene Position und Arbeit im Graduiertenkolleg haben zu müssen. Das wäre unter Umständen nicht möglich gewesen, wenn das Projekt allein durch einen Professor oder eine vergleichbar hohe akademische Stufe innerhalb des Graduiertenkollegs angeleitet worden wäre. Auch in Bezug auf die qualitativen Daten, die erhoben wurden, ist die offene Meinungsäußerung relevant. Durch die Autorin der vorliegenden Studie wurden die Doktoranden stets darum gebeten, im Sinne bestmöglicher Ergebnisse möglichst ehrlich und offen zu antworten. Insgesamt ist anzunehmen, dass die Personalunion der Autorin der Studie einen überwiegend positiven Effekt auf das gesamte Projekt hatte. Es darf nicht unerwähnt bleiben, dass es diesen Effekt gab und dieser sich wahrscheinlich in den Ergebnissen der Studie widerspiegelt.

Für weitere Studien in einem ähnlichen Setting ist es sinnvoll, mindestens eine weitere Person, die weder in das Graduiertenkolleg selbst, noch in die Maßnahmen involviert ist, einzubinden. Auf diese Weise kann eine triangulierende teilnehmende Beobachtung durchgeführt werden.

7 Fazit und Ausblick

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen mit den Doktoranden eines Graduiertenkollegs durchzuführen und diesen Prozess zu evaluieren, um anschließend eine Wissenschaftskommunikationsstrategie für naturwissenschaftliche Forschungsverbände abzuleiten.

Im Rahmen einer Vorstudie wurde herausgestellt, dass die Doktoranden des Graduiertenkollegs zu Beginn ihrer Promotion überwiegend keine oder kaum Berührungspunkte mit dem Konstrukt Wissenschaftskommunikation hatten. Darüber hinaus wurden die Anforderungen an Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen zur Steigerung der Kommunikationsfähigkeiten der Doktoranden identifiziert. Die Mehrheit fühlte sich nicht sicher darin, die eigene Forschung in der Gesellschaft zu kommunizieren. Den Doktoranden war jedoch bewusst, dass und warum sie in der Pflicht stehen, die Inhalte ihrer Arbeit nach außen zu kommunizieren. Auf dieser Grundlage wurden drei Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen mit unterschiedlichen Schwerpunkten entwickelt. Als besonders relevante Unterschiede wurden die Art der Konzeption sowie die der Rezipienten manifestiert. Die Art der Konzeption divergierte in partizipativ, nicht-partizipativ und autonom.

Um die nicht-partizipative Gestaltung zu realisieren wurde im Rahmen der curricularen Innovationsforschung eine Lerneinheit entwickelt, die in Bezug zur Forschung des Graduiertenkollegs steht. Diese thematisiert übergeordnet die gedruckte Elektronik und setzt sich aus einer hands-on Elektrolumineszenz-Folie sowie aus den Begleitmaterialien zu deren fachwissenschaftlicher Erschließung zusammen. Die Lerneinheit kann sowohl in der Schule, als auch extracurricular eingesetzt werden.

Die Ergebnisse der Studie deuten darauf hin, dass es verschiedene Wissenschaftskommunikationstypen unter den Doktoranden gibt, die individuell durch differenzierte Maßnahmen in ihrer Fähigkeit Wissenschaft zu kommunizieren gefördert werden können. Es wird angenommen, dass sich eine gelungene Förderung insbesondere dadurch auszeichnet, dass Erfolge wahrgenommen wurden. Die sogenannte *mastery experience* wird unter anderem dadurch begünstigt, dass die erfolgreich bewältigte Herausforderung angemessen groß war.

Aufgrund der kleinen Stichprobe in der vorliegenden Studie, konnten nur Trends für die Ergebnisse aufgezeigt werden. Für die Finalisierung einer allgemeingültigen Strategie zur

Wissenschaftskommunikation in Forschungsverbänden ist es daher relevant, die Größe der Stichprobe zu maximieren, indem weitere Doktoranden innerhalb eines Forschungsverbundes an unterschiedlichen Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen teilnehmen und der Effekt der Partizipation analog zur Evaluation in der vorliegenden Arbeit untersucht wird. Die Forschungsmethodik ist dafür an die diskutierten Aspekte im vorausgegangenen Kapitel der Methodenreflexion zu adaptieren.

Zugleich wurde die Lerneinheit zur Elektrolumineszenz-Folie nur bis einschließlich der Investigationsphase (Banerji, 2023) entwickelt, um sie anschließend für die Wissenschaftskommunikation im Graduiertenkolleg einsetzen zu können. Für die darüberhinausgehende, perspektivische Implementation der Lerneinheit in Schulen und an außerschulischen Lernorten ist es daher unerlässlich diese im Rahmen der Innovations- sowie der Implementationsphase weiterzuentwickeln. Dazu wird an der Universität Potsdam bereits ein Materialkoffer entwickelt und in Fortbildungen vorgestellt.

Auch an der Entwicklung des Konzeptes zur Wissenschaftskommunikation für naturwissenschaftliche Forschungsverbände wird bereits vertiefend gearbeitet. Im April 2023 nahmen erneut Mitglieder der zweiten Kohorte des Graduiertenkollegs am *Girls' Day* teil. Zum Zeitpunkt der Fertigstellung dieser Arbeit wird die Post-Evaluation bearbeitet.

8 Anhang

8.1 Ergebnisdiskussion der Vorstudie

In der Darstellung der Ergebnisse wird die Anzahl der Doktoranden, die die jeweilige Stufe (*strongly agree* bis *strongly disagree*) gewählt haben, oberhalb der farbigen Säulen gezeigt. Die Ausprägungen der Stufen werden für die prozentuale Beschreibung komprimiert, die Stufen *strongly agree* und *agree* werden zur Zustimmung zusammengefasst, während die Stufen *strongly disagree* und *disagree* zur Ablehnung zusammengefasst werden. Im Gesamten wird gewertet, wie viel prozentuale Zustimmung ein Item erhalten hat. Aufgrund der verhältnismäßig kleinen Anzahl an Respondenten ($N = 15$) wird bei der Auswertung ein Trend aufgezeigt, indem gerundete prozentuale Angaben gemacht werden.

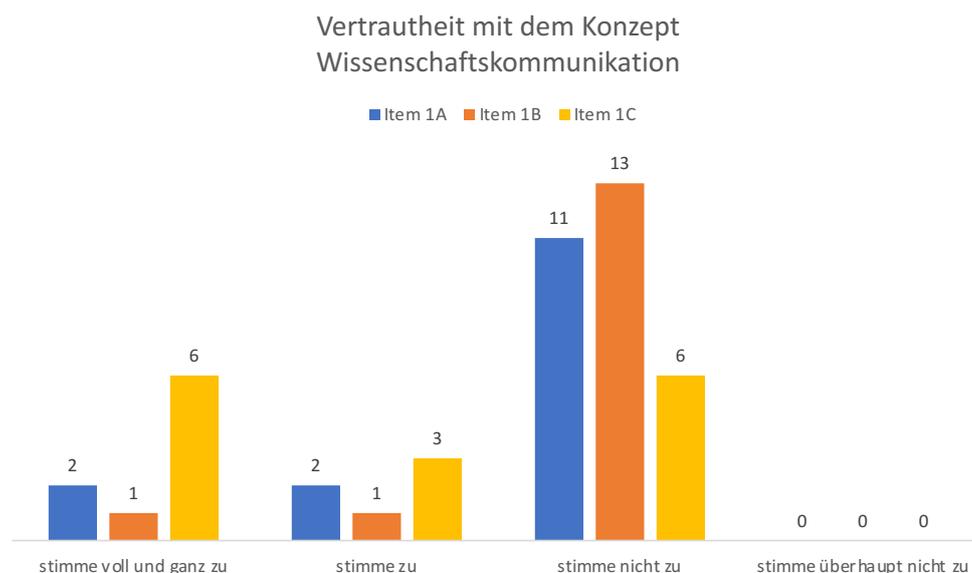


Abbildung 37: Darstellung der Ergebnisse der Items 1A-C als Säulendiagramm. 1A: Ich wusste bereits während meines Studiums, was Wissenschaftskommunikation ist, 1B: Ich wusste bereits während meines Studiums, dass es Forschung im Bereich Wissenschaftskommunikation gibt, 1C: Vor meinem Eintritt in das GRK wusste ich, dass es einen Projektbereich „Science Communication and Outreach“ geben wird.

Es wird deutlich, dass es keine besonders große Vertrautheit mit dem Konzept der Wissenschaftskommunikation gab (siehe Abbildung 37). Das Item 1A, ob die Doktoranden während des Studiums wussten, was Wissenschaftskommunikation ist, wurde von 73 % der Doktoranden verneint. Insbesondere die Frage nach dem Wissen über einen Forschungszweig, der sich mit Wissenschaftskommunikation beschäftigt, wurde überwiegend verneint (86 %).

Lediglich zwei der Doktoranden wussten während des Studiums von der Existenz der Forschung über Wissenschaftskommunikation. Das Bewusstsein über einen Projektbereich, der sich mit Wissenschaftskommunikation beschäftigt, bejahen 60 %, während fast die Hälfte angibt nicht zu wissen, dass es einen solchen Projektbereich im Graduiertenkolleg geben wird. Zuletzt fällt auf, dass es in Bezug auf das Konzept Wissenschaftskommunikation keine vollständige Ablehnung gibt.

Im dritten Block des Fragebogens wurde die Selbsteinschätzung hinsichtlich der Fähigkeit zu kommunizieren erhoben (siehe Abbildung 38). Dabei lag der Fokus im ersten Item auf der Einschätzung der generellen Fähigkeit zu erklären. Das zweite Item fragt konkreter nach der Einschätzung des Selbstvertrauens in einer Vortragssituation. Im dritten Item werden die zu kommunizierenden Inhalte auf das PhD-Thema spezifiziert. Das vierte Item abstrahiert die Kommunikationsfähigkeiten im Rahmen des Graduiertenkollegs von der Einschätzung, wissenschaftliche Inhalte für die Öffentlichkeit zusammenfassen zu können.

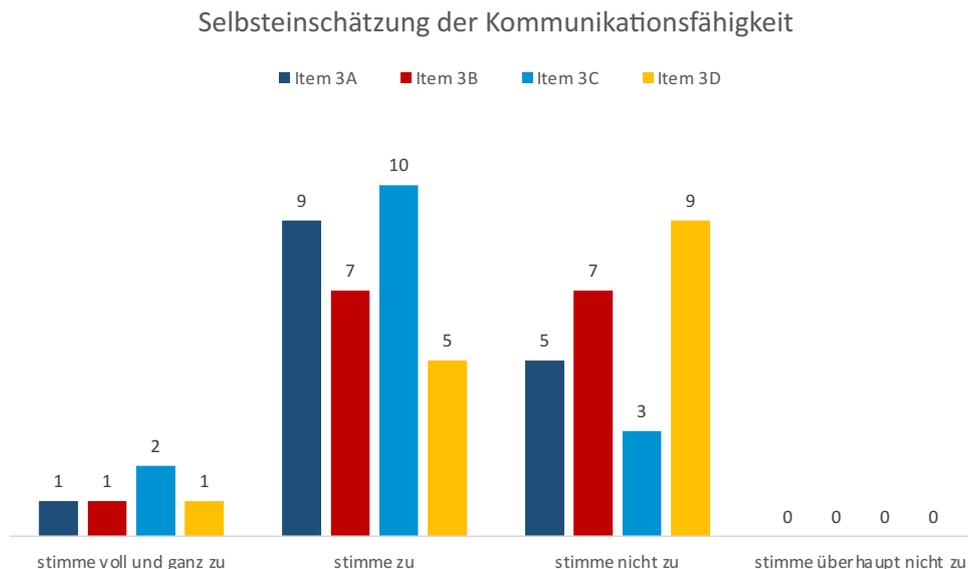


Abbildung 38: Darstellung der Ergebnisse der Items 3A-D als Säulendiagramm. 3A: Ich kann gut erklären, 3B: Ich fühle mich sicher, wenn ich einen Vortrag halte, 3C: Ich fühle mich sicher, wenn ich anderen von meinem PhD-Thema erzähle, 3D: Ich weiß, wie ich mein PhD- Thema auf einfachem Weg für Laien zusammenfassen kann.

Es ist auffällig, dass sich die meisten Doktoranden im Bereich Kommunikation dann am sichersten fühlen, wenn sie über ihr eigenes Forschungsprojekt sprechen. Bei diesem Item (3C) erreicht auch die vollständige Zustimmung den relativen höchsten Wert. Insgesamt 80% fühlen sich sicher in der Kommunikation über ihr PhD-Thema, wenn beide zustimmenden Items

(strongly agree und agree) zusammen gewertet werden. In diesem Zusammenhang fällt auf, dass die Gruppe in Bezug auf die Aufbereitung des eigenen Promotionsthemas für die Laien-Öffentlichkeit divergiert. Insgesamt 60% fühlen sich darin nicht sicher (Item 3D). Dass sie generell sehr gut erklären können bejahen insgesamt 66 %. Nur etwa 53 % fühlen sich sicher beim Halten eines Vortrags. Über den gesamten Item-Block wurde erneut nicht einmal die letzte Stufe gewählt.

Der zweite Block beinhaltet die Items (2 A1-J2), die aus den von den Ergebnissen GANTENBERGS abgeleiteten Thesen (T1-T10) erstellt wurden. Es soll nachfolgend herausgestellt werden, ob die Thesen, die auf der Einschätzung von Wissenschaftlern aus Forschungsverbänden hinsichtlich Wissenschaftskommunikation begründet sind, auf die Doktoranden des Graduiertenkollegs ModISC übertragbar sind. Die Auswertung der Ergebnisse des zweiten Blocks sollen grundlegend in die Entwicklung der Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen für das Graduiertenkolleg einfließen.

Im Folgenden werden die einzelnen Ergebnisse thesenbezogen dargestellt und die Tendenzen analysiert. Die Darstellung erfolgt in Form von Säulendiagrammen. Die Farben beziehen sich je auf das erste und das zweite Item. Die in den Säulen befindlichen Zahlen geben an, wie viele der Doktoranden pro einzelnes Item die jeweilige Stufe der Zustimmung gewählt haben. Daraus geht gleichermaßen ein Trend hervor, inwieweit die Items reliabel sind. Aufgrund der geringen Stichprobe ist die Berechnung der internen Konsistenz durch Cronbachs Alpha nicht besonders aussagefähig. Dennoch deuten ähnliche oder sogar gleiche Werte der Zustimmung zu je beiden Items auf eine gute interne Konsistenz hin.

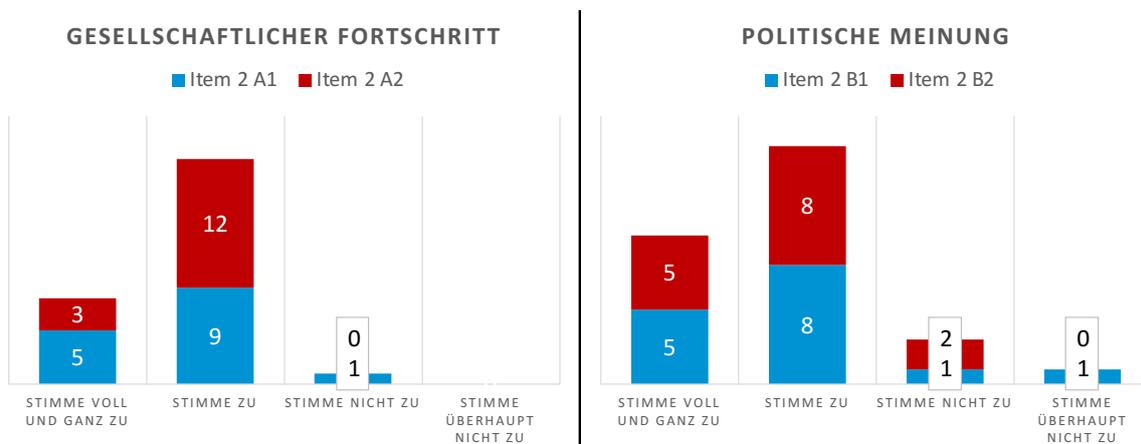


Abbildung 39: Darstellung der Ergebnisse zu These T1 (Gesellschaftlicher Fortschritt) und These T2 (Politische Meinung). These T1: Die Wissenschaftler finden Wissenschaftskommunikation wichtig, um einen gesamtgesellschaftlichen Fortschritt zu sichern. These T2: Die Wissenschaftler halten es für möglich, dass die Kommunikation von wissenschaftlichen Ergebnissen Einfluss auf die politische Meinungsbildung nehmen kann.

Die Ergebnisse zur These T1 zeigen, dass die Doktoranden des Graduiertenkollegs ModISC Wissenschaftskommunikation als relevant für die Sicherung des gesamtgesellschaftlichen Fortschritts ansehen. Nur ein Doktorand widerspricht dieser These. Die These T1 wird mit 97 % Zustimmung positiv bewertet (siehe Abbildung 39).

Darüber hinaus stimmen 86 % der Doktoranden zu, dass es möglich ist, durch die Kommunikation von wissenschaftlichen Ergebnissen die politische Meinung der Gesellschaft beeinflussen zu können (T2). Auch hier ist auffällig, dass nur etwa 13 % dies nicht für möglich hält (siehe Abbildung 39).

Anders verhält es sich jedoch mit den Thesen, die die hypothetischen Beweggründe von Wissenschaftlern betreffen. Die These T3 sagt aus, dass die Wissenschaftler es für die Pflicht von Forschenden halten, die Öffentlichkeit über ihre Forschung zu informieren, weil der Zugang von Forschenden zu Informationen ein privilegierter ist. These T4 nennt die Finanzierung der Forschung durch Steuergelder als Begründung für die Kommunikation wissenschaftlicher Inhalte in die Gesellschaft (siehe Abbildung 40).

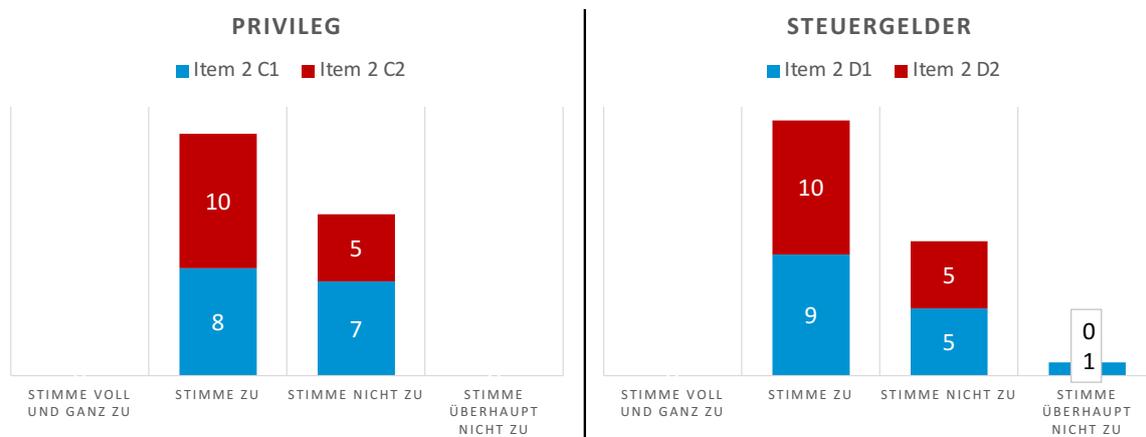


Abbildung 40: Darstellung der Ergebnisse zu These T3 (Privileg) und These T4 (Steuergelder). These T3: Die Wissenschaftler halten es für die Pflicht von Forschenden, ihre Ergebnisse der Öffentlichkeit mitzuteilen, da sie einen privilegierten Zugang zur Wissenschaft haben. These T4: Die Wissenschaftler denken, dass Forschende ihre Forschung kommunizieren sollten, da diese von Steuergeldern finanziert wird.

Beide Thesen werden in der Tendenz durch die Doktoranden bejaht, jedoch in Relation zu den vorausgegangenen Thesen deutlich schwächer. Insgesamt stimmen der These T3 60 % zu, während der These T4 etwa 63 % zustimmen. Ein Doktorand stimmt überhaupt nicht zu, dass Wissenschaftler auf Grund steuerlicher Finanzierung in der Pflicht stehen zu kommunizieren.

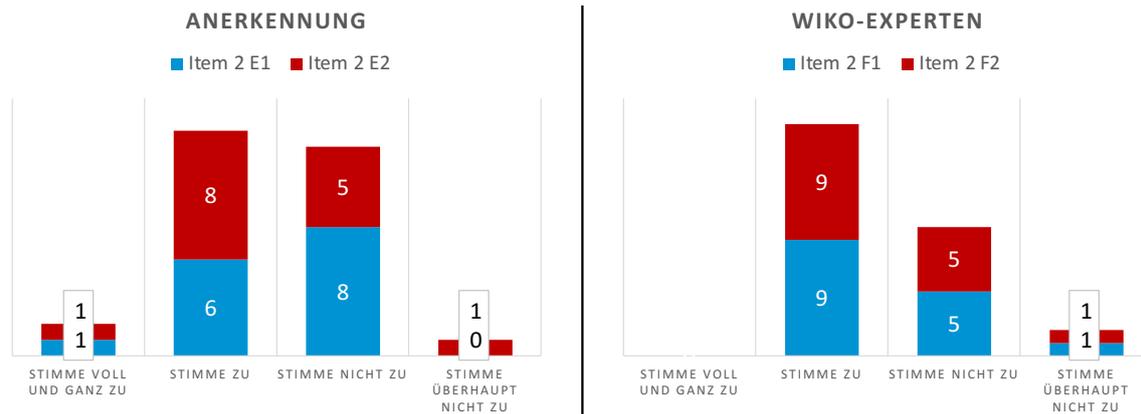


Abbildung 41: Darstellung der Ergebnisse zu These T5 (Anerkennung) und These T6 (WiKo-Experten). These T5: Die Wissenschaftler halten es für vorteilhaft, externe Wissenschaftskommunikation zu praktizieren, wenn ihre Leistung innerwissenschaftlich anerkannt ist. These T6: Die Wissenschaftler halten es für sinnvoll, dass Wissenschaftskommunikation im Forschungsverbund von jemandem mit Kommunikationsexpertise angeleitet und organisiert wird.

Im Hinblick auf die These T5, die den Vorteil der Anerkennung der Wissenschaftler durch externe Wissenschaftskommunikation anspricht, divergiert die Stichprobe der Doktoranden stark. Die Meinungen der Doktoranden teilen sich nahezu hälftig auf; bestätigt wird die These von insgesamt 53 %. Es ist unklar, ob die Doktoranden es dann für sinnvoll halten, ihre Forschung an die Öffentlichkeit zu kommunizieren, wenn sie bereits für ihre Leistung in der internen Wissenschaftsgemeinschaft anerkannt sind. Es kann keine Aussage über eine deutliche Tendenz gemacht werden (siehe Abbildung 41).

Deutlicher wird die These T6 bestätigt, dass die Doktoranden es für sinnvoll halten würden, wenn der Aspekt der Wissenschaftskommunikation im Graduiertenkolleg durch jemanden mit Expertise auf dem Gebiet angeleitet und organisiert wird. Dieser These stimmen 60 % der Doktoranden zu. Insgesamt 40 % stimmen ihr jedoch nicht zu (siehe Abbildung 41).

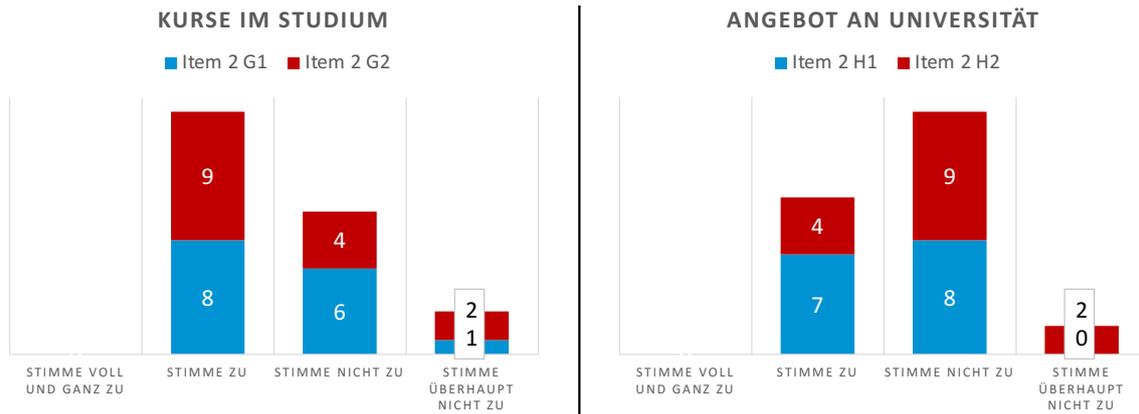


Abbildung 42: Darstellung der Ergebnisse zu These T7 (Kurse im Studium) und These T8 (Angebot an Universität). These T7: Die Wissenschaftler hätten sich Kurse zum Oberthema Wissenschaftskommunikation bereits während ihrer frühen akademischen Ausbildung gewünscht. These T8: Die Wissenschaftler wünschen sich Angebote zur Fort- und Weiterbildung im Bereich der Wissenschaftskommunikation, die an der Universität angeboten werden.

Eine sehr ähnliche Tendenz stellt sich für die These T7 heraus. Diese sagt aus, dass sich die Doktoranden im Studium bereits Kurse zum Thema Wissenschaftskommunikation gewünscht hätten. Dieser These stimmen 57 % der Doktoranden zu, während insgesamt 43 % diese verneinen (siehe Abbildung 42).

Dem möglichen Wunsch der Doktoranden nach weiteren Angeboten zur Fort- und Weiterbildung in der Universität zum Thema Wissenschaftskommunikation im Rahmen der These T8 wird überwiegend nicht zugestimmt. Lediglich knapp 36 % der Doktoranden wünschen sich diese Angebote (siehe Abbildung 42).

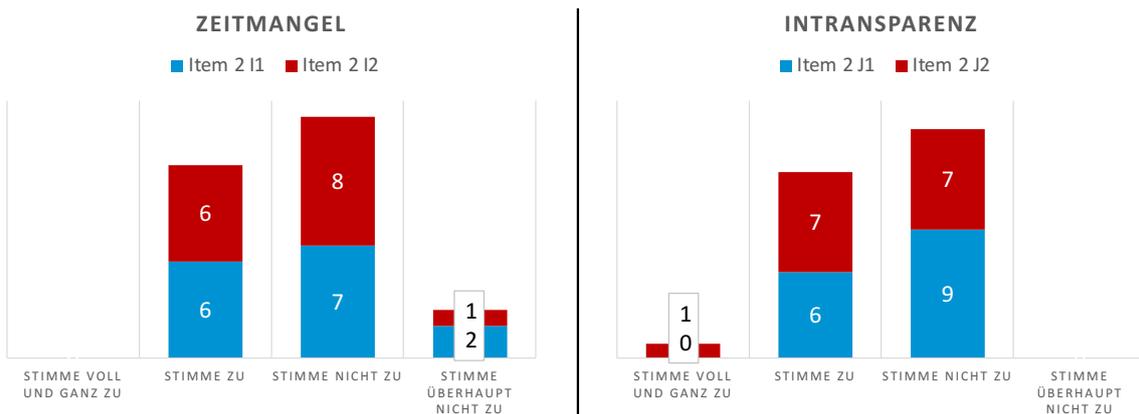


Abbildung 43: Darstellung der Ergebnisse zu These T9 (Zeitmangel) und These T10 (Intransparenz). These T9: Die Wissenschaftler würden sich gern vertieft mit Öffentlichkeitsarbeit auseinandersetzen, es bleibt ihnen jedoch nicht ausreichend Zeit während der Promotion. These T10: Die Wissenschaftler wissen nicht, wie an das Thema Wissenschaftskommunikation heranzugehen ist.

Eine ähnliche Tendenz geht aus der These T9 hervor, die aufgestellt wurde im Hinblick auf den möglichen Mangel an Zeit bei den Doktoranden. Diese These ist aus einem der bedeutendsten

Ergebnisse der Studie von GANTENBERG abgeleitet worden (siehe Kapitel 2.2.4.1). Der These, dass sie sich gerne mehr im Bereich der Wissenschaftskommunikation einbringen würden, wenn sie mehr Zeit zur Verfügung hätten, stimmten 40 % der Doktoranden zu (siehe Abbildung 43).

Der These T10, dass es unklar ist, wie an das Thema Wissenschaftskommunikation heranzugehen ist, stimmen etwa die Hälfte der Doktoranden zu (46 %), der Rest verneint diese. Die Einschätzung der These T10 wird durch ein negativ formuliertes Item überprüft. Dieses wurde in der Auswertung wieder invertiert (siehe Abbildung 43).

Werden alle positiven Einschätzungen der Doktoranden, die Stufen *stimme voll und ganz zu* und die Stufe *stimme zu*, aufsummiert, so ergibt sich daraus insgesamt eine Zustimmung für die abgeleiteten Thesen von genau 60 %.

8.2 Ergebnisdiskussion der Hauptstudie

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Interventionsmaßnahmen *Girls' Day* und *Nacht der Wissenschaft* abgebildet. Die quantitativen Daten werden deskriptiv in Form von Graphen, die den Zusammenhang von Pre- und Post-Test darstellen, veranschaulicht und sinnvoll durch die qualitativen Daten ergänzt. In der Darstellung der quantitativen Daten werden die Stufen der Likert-Skala in Form von Zahlen abgebildet (1=stimme nicht zu, 2=stimme kaum zu, 3=stimme eher zu, 4=stimme voll und ganz zu). In Rot wird der Grad der Zustimmung beim Pre-Test und in Grün beim Post-Test dargestellt. Nachfolgend wird (3) als erster Grad der Zustimmung und (4) als zweiter Grad der Zustimmung bezeichnet. Insgesamt kann ein Höchstwert von 60 Punkten für die Zustimmung erreicht werden. In diesem Fall würde ein Proband allen Items voll und ganz zustimmen.

Relevant für die Ergebnisse ist die Teilnahme an den vorbereitenden Terminen zu der jeweiligen Maßnahme. Für die *Nacht der Wissenschaft* sind alle Doktoranden zu allen vorbereitenden Terminen erschienen. Beim vorbereitenden Termin für den *Girls' Day* fehlte ein Doktorand. Dieser (Doktorand BM) gab das Fehlen in dem zugehörigen Fragebogen an.

8.2.1 Girls' Day

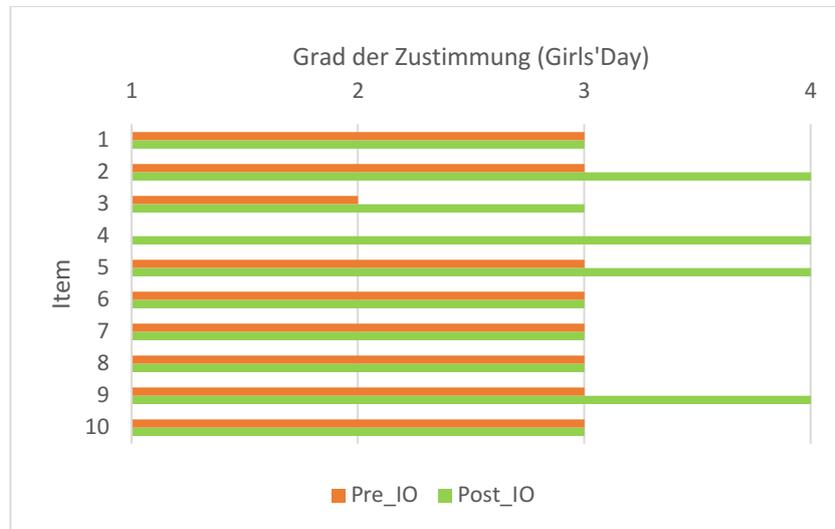


Abbildung 44: Graphische Darstellung der Entwicklung der Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf den *Girls' Day* (Doktorand IO).

Im Pre-Test des Doktoranden IO wird eine Gesamtzustimmung von 27 Punkten erreicht. Es erreichen 80 % der Items, die die Selbstwirksamkeitserwartung beschreiben, mindestens den ersten Grad der Zustimmung (siehe Abbildung 44).

Der Doktorand hat insgesamt bereits eine hohe Selbstwirksamkeitserwartung im Hinblick auf den *Girls' Day*. In den offenen Fragen wird dieses Ergebnis durch die Aussage „I used to take part in *Girls' Day* myself as a pupil“ ergänzt.

Nach der Intervention stieg der Grad der Zustimmung bei den Items (2) „Menschen, denen ich von meiner Forschung berichtet habe, möchten meistens mehr darüber erfahren“, (5) „Fragen von Fachfremden zu meiner Forschung weiß ich auf Anhieb verständlich zu beantworten“ und (9) „Fachfremde von meiner Forschung zu begeistern, fällt mir nicht schwer“ von der zweithöchsten auf die höchste Stufe der Zustimmung an. Dem Item, das den gesellschaftlichen Mehrwert der eigenen Kommunikation beschreibt (4), wurde im Pre-Test überhaupt nicht zugestimmt. Nach der Intervention erreicht es die maximale Zustimmung. Das Item (3) „Es bereitet mir keine Schwierigkeiten, über meine Forschung zu sprechen“ erreicht nach dem *Girls' Day* auch den ersten Grad der Zustimmung. Nach der Intervention erreicht der Doktorand eine Zustimmung von 34 Punkten und alle Items mindestens den ersten Grad der Zustimmung.

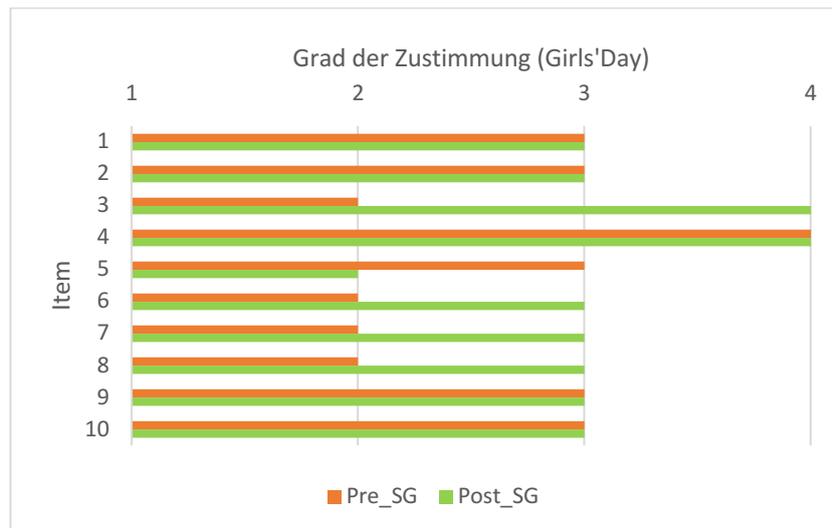


Abbildung 45: Graphische Darstellung der Entwicklung der Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf den *Girls' Day* (Doktorand SG).

Vor dem *Girls' Day* erreicht der Doktorand SG für die Gesamtzustimmung insgesamt 27 Punkte, 60 % der Items bei Doktorand SG haben zumindest den ersten Grad der Zustimmung (siehe Abbildung 45).

Dem Item (4) zum gesellschaftlichen Mehrwert der Kommunikation der eigenen Forschung wird sowohl vor als auch nach der Interventionsmaßnahme voll und ganz zugestimmt. Dem Item (3) „Es bereitet mir keine Schwierigkeiten über meine Forschung zu sprechen“ wurde vor dem *Girls' Day* kaum zugestimmt, im Post-Test erreicht es die volle Zustimmung. Der Doktorand SG hat im vorausgegangenen Workshop verstanden: „that explaining the theoretical background to the general public requires practice and it need to be simple and also entertaining“. Die Items (6) „Der Betreuung der Schülerinnen am *Girls' Day* sehe ich gelassen entgegen, weil ich meinen Fähigkeiten immer vertrauen kann“, (7) „Kritische Nachfragen der Schülerinnen werde ich lösungsorientiert beantworten können“ und (8) „Wenn ich über chemische Inhalte sprechen soll, weiß ich immer, wie ich das kontextbezogen umsetze“ erreichen vor dem *Girls' Day* kaum Zustimmung und im Anschluss eher eine Zustimmung. Dem Item (5) „Fragen von Fachfremden zu meiner Forschung weiß ich auf Anhieb verständlich zu beantworten“ wurde vor der Interventionsmaßnahme eher zugestimmt, während ihm anschließend nur noch kaum zugestimmt wird. Nach der Interventionsmaßnahme werden insgesamt 31 Punkte erreicht und 90 % der Items erreichen mindestens den ersten Grad der Zustimmung.

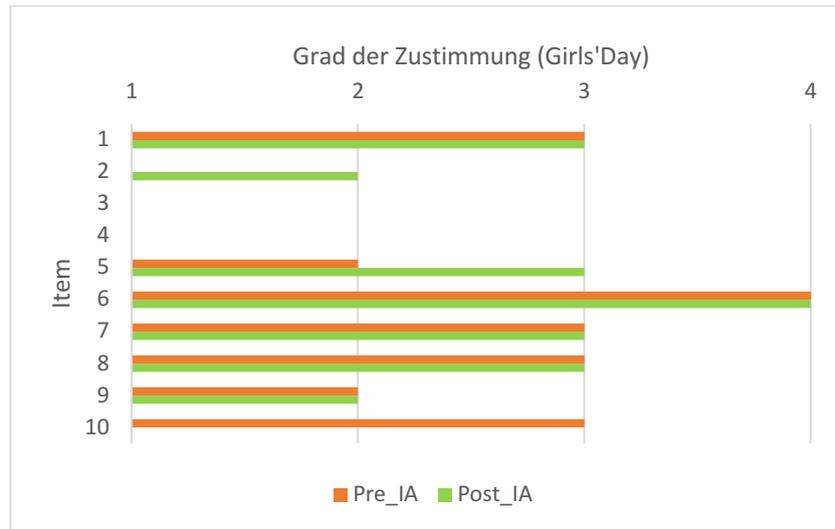


Abbildung 46: Graphische Darstellung der Entwicklung der Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf den *Girls' Day* (Doktorand IA).

Sowohl vor als auch nach der Interventionsmaßnahme erreicht der Doktorand IA 23 Punkte und insgesamt 50 % der Items mindestens den ersten Grad der Zustimmung (siehe Abbildung 46). Dem Item (6) „Der Betreuung der Schülerinnen am *Girls' Day* sehe ich gelassen entgegen, weil ich meinen Fähigkeiten immer vertrauen kann“ stimmt er vorher und nachher gleichermaßen voll und ganz zu. Nach der Interventionsmaßnahme erreichen wieder 50 % der Items mindestens den ersten Grad der Zustimmung. Es sind nicht die gleichen Items, wie vor dem *Girls' Day*. Vor dem *Girls' Day* erreichte das Item (10) „Den Schülerinnen die Inhalte des Experiments theoretisch nahezubringen, wird mir ohne Probleme gelingen“ eher die Zustimmung, während ihm in der Rekapitulation nicht mehr zugestimmt wird. Den Items (3) „Es bereitet mir keine Schwierigkeiten, über meine Forschung zu sprechen“ und (4) „Die Kommunikation meiner Forschung hat einen gesellschaftlichen Mehrwert“ wird vor und nach der Interventionsmaßnahme nicht zugestimmt. Dem Item (2) „Menschen, denen ich von meiner Forschung berichtet habe, möchten meistens mehr darüber erfahren“ wird vorher nicht, anschließend jedoch kaum zugestimmt.

Das Item (5) „Fragen von Fachfremden zu meiner Forschung weiß ich auf Anhieb verständlich zu beantworten“ erhält nach dem *Girls' Day* eher eine Zustimmung, wohingegen ihm zuvor kaum zugestimmt wurde. In den offenen Fragen äußert der Doktorand IA: “The training day was not necessary for describing and talking to the pupils for me”.

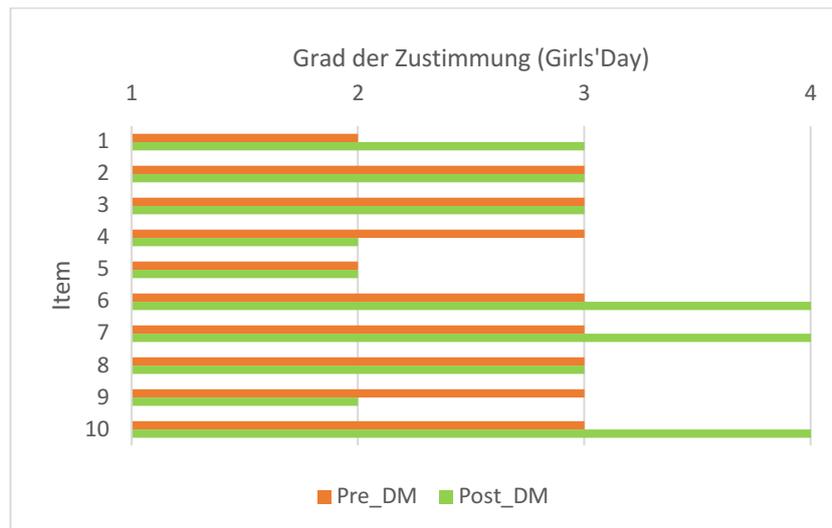


Abbildung 47: Graphische Darstellung der Entwicklung der Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf den *Girls' Day* (Doktorand DM).

Vor der Interventionsmaßnahme erreicht der Doktorand DM eine Zustimmung von 28 Punkten und es erreichen 80 % der Items mindestens den ersten Grad der Zustimmung (siehe Abbildung 47). Nach dem *Girls' Day* erreichen 70 % der Items mindestens den ersten Grad der Zustimmung. Das Item (1) „Wenn ich mit Fachfremden über meine Forschung spreche, kann ich die Inhalte vermitteln“ erreicht vorher kaum Zustimmung, während es nach der Interventionsmaßnahme eher eine Zustimmung erhält. Den Items (4) „Die Kommunikation meiner Forschung hat einen gesellschaftlichen Mehrwert“ und (9) „Fachfremde von meiner Forschung zu begeistern, fällt mir nicht schwer“ wird vor der Wissenschaftskommunikationsmaßnahme eher, im Anschluss kaum zugestimmt. Drei Items, (6) „Der Betreuung der Schülerinnen am *Girls' Day* sehe ich gelassen entgegen, weil ich meinen Fähigkeiten immer vertrauen kann“, (7) „Kritische Nachfragen der Schülerinnen werde ich lösungsorientiert beantworten können“ und (10) „Den Schülerinnen die Inhalte des Experiments theoretisch nahezubringen, wird mir ohne Probleme gelingen“ erhalten nach der Interventionsmaßnahme eine vollständige Zustimmung, wohingegen ihnen zuvor nur eher zugestimmt wurde. In den Ergebnissen der offenen Fragen wird diese Entwicklung unterstützt, der Doktorand hat sich „nach dem Training [...] gut vorbereitet gefühlt, was auf die Schülerinnen und [ihn] zukommt“. Im Anschluss an den *Girls' Day* erreicht der Doktorand DM für die Gesamtzustimmung 30 Punkte.

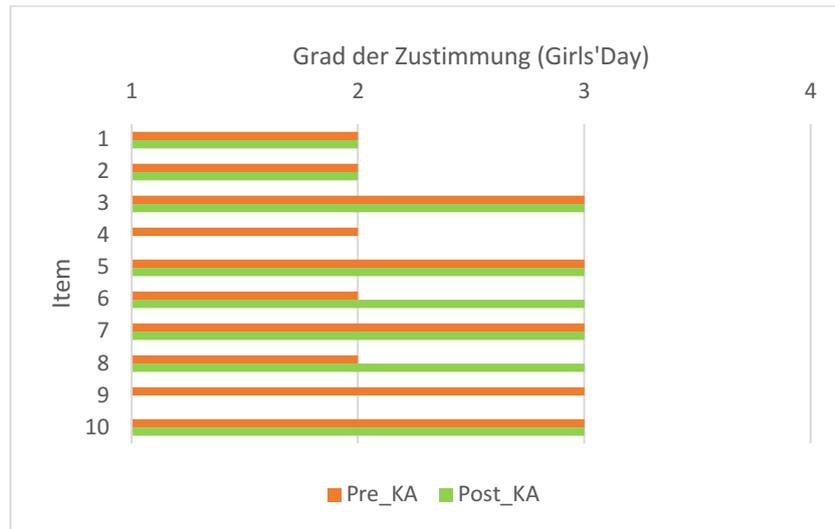


Abbildung 48: Graphische Darstellung der Entwicklung der Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf den *Girls' Day* (Doktorand KA).

Insgesamt erreicht der Doktorand KA vor der Interventionsmaßnahme 25 Punkte (siehe Abbildung 48).

Die Hälfte der Items erreichen bei Doktorand KA vor der Interventionsmaßnahme mindestens den ersten Grad der Zustimmung. Dem Item (9) „Fachfremde von meiner Forschung zu begeistern, fällt mir nicht schwer“ stimmt er vor der Intervention eher zu, im Anschluss erreicht das Item keine Zustimmung. Den Items (6) „Der Betreuung der Schülerinnen am *Girls' Day* sehe ich gelassen entgegen, weil ich meinen Fähigkeiten immer vertrauen kann“ und (8) „Wenn ich über chemische Inhalte sprechen soll, weiß ich immer, wie ich das kontextbezogen umsetze“ wurde vor der Intervention kaum zugestimmt, im Anschluss an die Intervention erreichen beide eher eine Zustimmung. Dieses Ergebnis stützt er in den offenen Fragen, indem er schreibt: „It helped to understand the theoretical background and the program of the *Girls' Day*“. Dem Item (4) „Die Kommunikation meiner Forschung hat einen gesellschaftlichen Mehrwert“ wurde zuvor nicht zugestimmt, während ihm anschließend kaum zugestimmt wurde. Nach der Interventionsmaßnahme werden nur noch 24 Punkte erreicht, 60 % der Items erreichen jedoch mindestens den ersten Grad der Zustimmung.

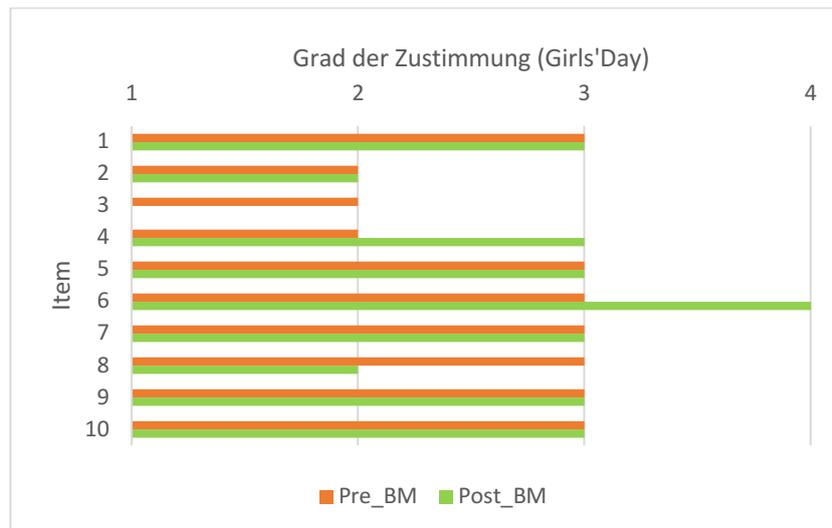


Abbildung 49: Graphische Darstellung der Entwicklung der Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf den *Girls' Day* (Doktorand BM).

Sowohl vor als auch nach der Interventionsmaßnahme erreicht der Doktorand BM 27 Punkte und insgesamt 70 % der Items erreichen vor dem *Girls' Day* mindestens den ersten Grad der Zustimmung (siehe Abbildung 49). Der Doktorand BM hat am vorausgegangenen Workshop zur Vorbereitung nicht teilgenommen. Dem Item (3) „Es bereitet mir keine Schwierigkeiten, über meine Forschung zu sprechen“ wurde vor der Interventionsmaßnahme kaum zugestimmt, anschließend wird ihm nicht mehr zugestimmt. Nach der Interventionsmaßnahme erreicht das Item (4) „Die Kommunikation meiner Forschung hat einen gesellschaftlichen Mehrwert“ eher eine Zustimmung, während ihm zuvor kaum zugestimmt wurde. Das Item (6) „Der Betreuung der Schülerinnen am *Girls' Day* sehe ich gelassen entgegen, weil ich meinen Fähigkeiten immer vertrauen kann“ wurde vor der Interventionsmaßnahme eher zugestimmt, im Anschluss wird ihm voll und ganz zugestimmt.

Dem Item (8) „Wenn ich über chemische Inhalte sprechen soll, weiß ich immer, wie ich das kontextbezogen umsetze“ wurde vor der Intervention eher zugestimmt, es erreicht im Anschluss kaum Zustimmung. Auch nach der Interventionsmaßnahme erreichen 70 % der Items mindestens den ersten Grad der Zustimmung. Intern verändert sich die Gesamtzustimmung, nach außen jedoch nicht.

8.2.2 Nacht der Wissenschaft

Die Darstellung der Ergebnisse für die *Nacht der Wissenschaft* erfolgt wie für den *Girls' Day*. Da einer der Doktoranden nur den Pre-Test, jedoch nicht den Post-Test ausgefüllt hat, entfällt die Auswertung im Pre-Post-Design. Nach DÖRING UND BORTZ sollten Werte in einer Ordinalskala so zugeordnet werden, dass eine stärkere Merkmalsausprägung durch einen höheren Messwert beschrieben wird (Döring & Bortz, 2016, S. 592). Aus diesem Grund wurde das Item „Es ist schwierig für mich über meine Forschung zu sprechen“ invertiert zu „Es bereitet mir keine Schwierigkeiten über meine Forschung zu sprechen“, sodass es auf derselben Skala mit den anderen Items gemessen werden kann. Analog wurde der Grad der Zustimmung adaptiert, sodass die übergreifende Merkmalsausprägung, die aus allen Items hervorgeht, intuitiv zu verstehen ist (Döring & Bortz, 2016, S. 592). Anderenfalls hätte ein höherer Grad der Zustimmung zu diesem Item den Gesamtwert der Selbstwirksamkeitserwartung verringert. Die Nummerierung der Items, deren ursprüngliche Reihenfolge für die Fragebögen zur *Nacht der Wissenschaft* verändert wurde (siehe Tabelle 5), wird in den nachfolgenden Kapiteln im Sinne der Vergleichbarkeit der Daten von beiden Interventionsmaßnahmen wieder analog zur der des *Girls' Days* gestaltet.

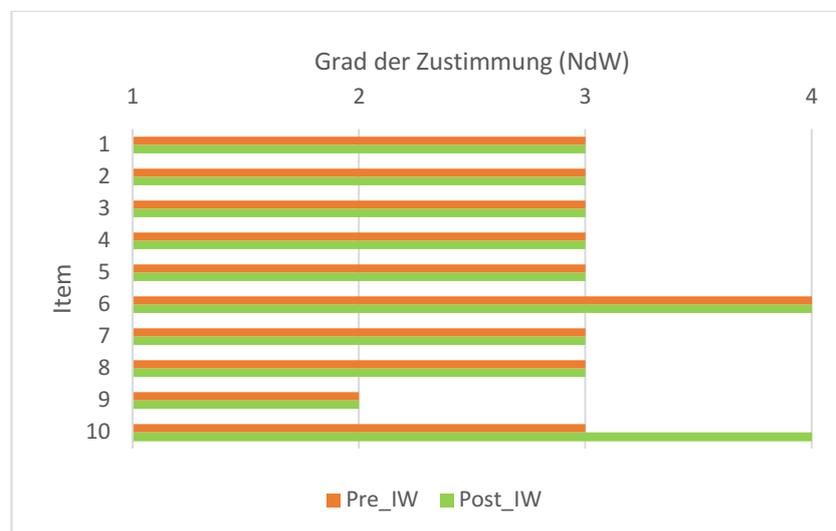


Abbildung 50: Graphische Darstellung der Entwicklung der Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf die *Nacht der Wissenschaft* (Doktorand IW).

Vor der Interventionsmaßnahme erreicht der Doktorand IW insgesamt 30 Punkte und insgesamt 90 % der Items erreichen mindestens den ersten Grad der Zustimmung (siehe Abbildung 50). Das entspricht einer hohen Selbstwirksamkeitserwartung vor der Durchführung der Wissenschaftskommunikationsmaßnahme. Im Post-Test verändert sich die Zustimmung zu

einem einzigen Item, dem Item (10) „Dem Publikum die Inhalte der *Nacht der Wissenschaft* zu erklären, wird mir ohne Probleme gelingen“, welches vom ersten Grad der Zustimmung auf volle Zustimmung ansteigt. In den offenen Fragen äußert er sich zu der *Nacht der Wissenschaft*: „Talking about research can be fun“ und „It felt good, people were really interested and enjoyed it“. Die Gesamtzustimmung zu den Items verändert sich durchschnittlich nicht, vor und nach der Interventionsmaßnahme erreichen 90 % mindestens den ersten Grad der Zustimmung. Die Gesamtzustimmung steigt nach der Intervention nochmal um einen Punkt auf 31 Punkte an. Retrospektiv ergänzt der Doktorand IW in den offenen Fragen zudem: „I was looking forward to the Night of Science“.

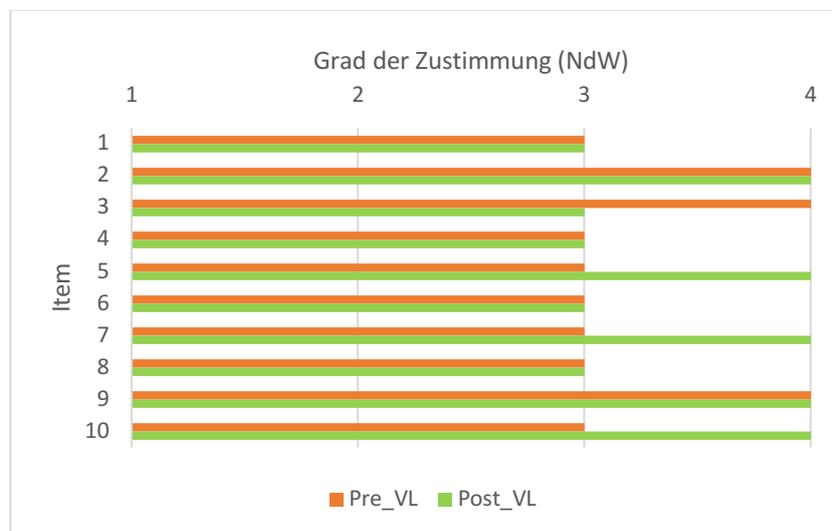


Abbildung 51: Graphische Darstellung der Entwicklung der Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf die *Nacht der Wissenschaft* (Doktorand VL).

Der Doktorand VL hat genauso wie der Doktorand IW schon vor der Interventionsmaßnahme eine hohe Selbstwirksamkeitserwartung (siehe Abbildung 51). Er erreicht insgesamt 33 Punkte und 100 % der Items erreichen vor der Intervention mindestens den ersten Grad der Zustimmung. Ergänzend beschreibt er: „I had previous experience in science communication“. Nach der *Nacht der Wissenschaft* erreichen drei Items, (7) „Kritische Nachfragen des Publikums der *Nacht der Wissenschaft* werde ich lösungsorientiert beantworten können“, (10) „Dem Publikum die Inhalte der *Nacht der Wissenschaft* zu erklären, wird mir ohne Probleme gelingen“ und (5) „Fragen von Fachfremden zu meiner Forschung weiß ich auf Anhieb verständlich zu beantworten“ eine vollständige Zustimmung, denen zuvor eher zugestimmt wurde. Dem Item (3) „Es bereitet mir keine Schwierigkeiten, über meine Forschung zu sprechen“ wurde vor der Interventionsmaßnahme voll und ganz zugestimmt, während ihm anschließend nur noch eher zugestimmt wird. Über seine Erfahrungen während der *Nacht der*

Wissenschaft berichtet er ergänzend: „I enjoyed talking to some people and I got a lot of positive comments about my research“, während er die vorbereitenden Treffen bewertet als „(...) helpful and they facilitated our participation at the Night of Science“. Nach der Intervention steigt die Gesamtzustimmung auf 35 Punkte an. Auch nach der *Nacht der Wissenschaft* erreichen 100 % der Items mindestens den ersten Grad der Zustimmung.

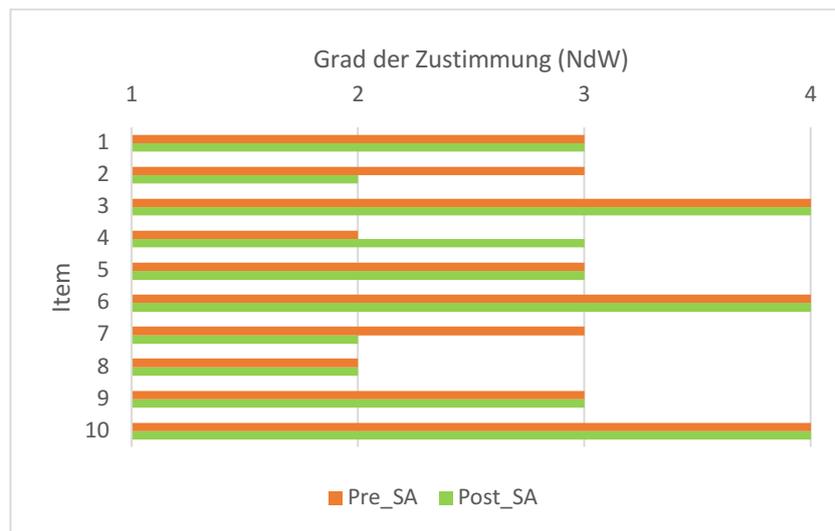


Abbildung 52: Graphische Darstellung der Entwicklung der Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf die *Nacht der Wissenschaft* (Doktorand SA).

Der Doktorand SA erreicht vor der Interventionsmaßnahme 31 Punkte, insgesamt 80 % der Items erreichen vor sowie nach der Interventionsmaßnahme mindestens den ersten Grad der Zustimmung (siehe Abbildung 52). Nach der Teilnahme an der *Nacht der Wissenschaft* stimmt er den Items (7) „Kritische Nachfragen des Publikums der *Nacht der Wissenschaft* werde ich lösungsorientiert beantworten können“ und (2) „Menschen, denen ich von meiner Forschung berichtet habe, möchten meistens mehr darüber erfahren“ kaum noch zu, während er dem Item (4) „Die Kommunikation meiner Forschung hat einen gesellschaftlichen Mehrwert“ jetzt eher zustimmt. Insgesamt nimmt die Zustimmung des Doktoranden SA zu der Gesamtheit der Items geringfügig ab, sie erreicht anschließend noch 30 Punkte. Hinsichtlich der vorbereitenden Treffen äußert sich der Doktorand, indem er beschreibt, dass er glücklich ist „(...) with the decisions that were made and that I did not have to organize that much“.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der drei Doktoranden ausgewertet, die an beiden Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen teilgenommen haben.

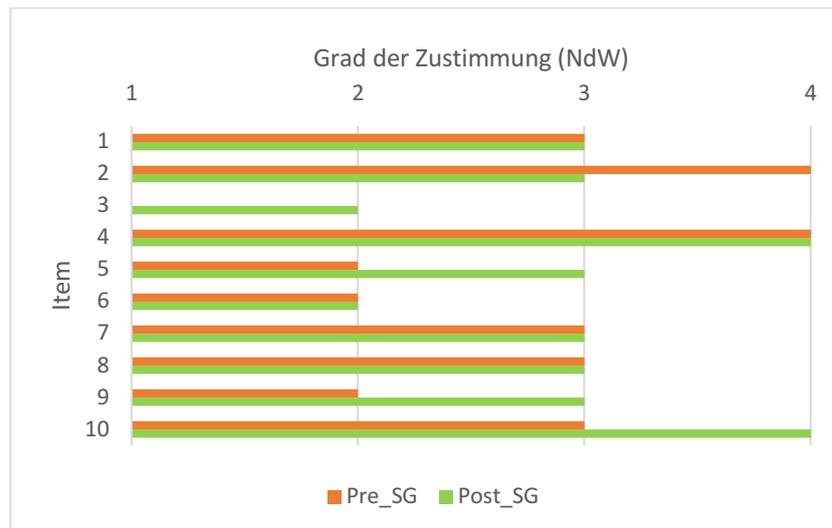


Abbildung 53: Graphische Darstellung der Entwicklung der Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf die *Nacht der Wissenschaft* (Doktorand SG).

Der Doktorand SG erreicht vor der zweiten Interventionsmaßnahme 27 Punkte der Gesamtzustimmung und 60 % der Items erreichen mindestens den ersten Grad der Zustimmung (siehe Abbildung 53). Dem Item (3) „Es bereitet mir keine Schwierigkeiten, über meine Forschung zu sprechen“ wurde nicht zugestimmt, nach der *Nacht der Wissenschaft* wird ihm kaum zugestimmt. Dem Item (2) „Menschen, denen ich von meiner Forschung berichtet habe, möchten meistens mehr darüber erfahren“ wurde zuvor voll und ganz zugestimmt und nach der Wissenschaftskommunikationsmaßnahme nur noch eher zugestimmt. Eine positive Veränderung im Grad der Zustimmung erreichen die Items (9) „Fachfremde von meiner Forschung zu begeistern, fällt mir nicht schwer“ und (5) „Fragen von Fachfremden zu meiner Forschung weiß ich auf Anhieb verständlich zu beantworten“. Beiden Items wurde vor der *Nacht der Wissenschaft* kaum und im Anschluss daran eher zugestimmt. Dem Item (10) „Dem Publikum die Inhalte der *Nacht der Wissenschaft* zu erklären, wird mir ohne Probleme gelingen“ stimmt der Doktorand SG vor der Interventionsmaßnahme eher zu und anschließend voll und ganz. Der Doktorand SG äußert sich zur *Nacht der Wissenschaft*, indem er sie beschreibt als eine „Completely different experience, which made me think much more about ModISC-topics“ und ergänzt „Another thing was discussing science in a more friendly environment, this was really good“. Zur partizipativen Gestaltung der *Nacht der Wissenschaft* äußert sich der Doktorand, indem er dies als „(...) extremely important (...)“ beschreibt. Als Begründung nennt er: „(...) there we could share between us the best way to explain the topics and we also could prepare ourselves challenging questions“. Nach der *Nacht der Wissenschaft* werden 30 Punkte erreicht, 80 % der Items erreichen mindestens den ersten Grad der Zustimmung.

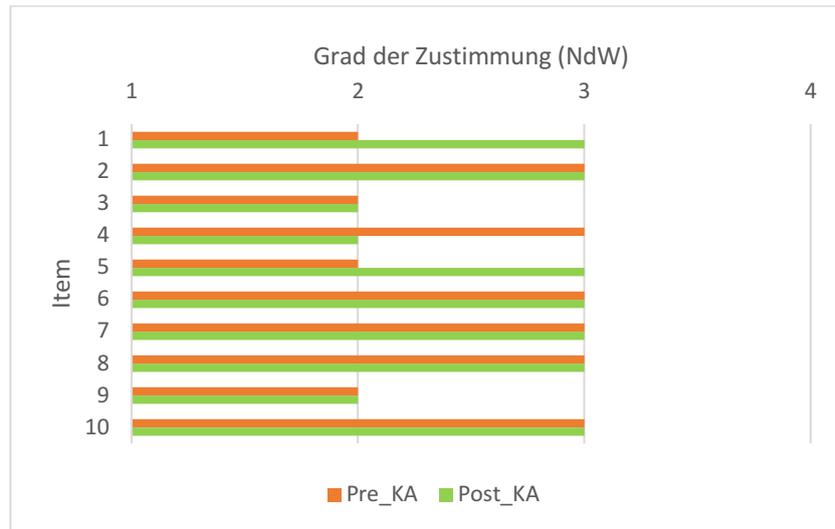


Abbildung 54: Graphische Darstellung der Entwicklung der Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf die *Nacht der Wissenschaft* (Doktorand KA).

Insgesamt erreicht der Doktorand KA vor der zweiten Interventionsmaßnahme 26 Punkte, 60 % der Items erreichen mindestens den ersten Grad der Zustimmung (siehe Abbildung 54). Es verändern sich zwei Items von kaum Zustimmung zu eher einer Zustimmung, das Item (5) „Fragen von Fachfremden zu meiner Forschung weiß ich auf Anhieb verständlich zu beantworten“ und das Item (1) „Wenn ich mit Fachfremden über meine Forschung spreche, kann ich die Inhalte vermitteln“. Der Doktorand äußert sich zu den Erfahrungen, die er während der *Nacht der Wissenschaft* gemacht hat: „People showed interest by asking questions related to the experiments“ und ergänzt: „It was good to see the interest in your research topic“. Nach der Intervention erreicht der Doktorand KA 27 Punkte und 70 % der Items erreichen mindestens den ersten Grad der Zustimmung.

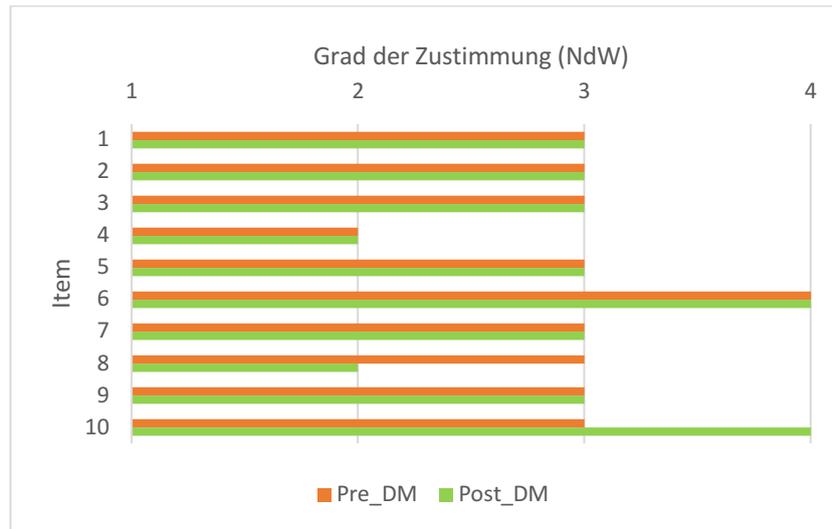


Abbildung 55: Graphische Darstellung der Entwicklung der Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf die *Nacht der Wissenschaft* (Doktorand DM).

Beim Doktoranden DM wird vor und nach der zweiten Interventionsmaßnahme eine Gesamtzustimmung von 30 Punkten erreicht (siehe Abbildung 55). Es erreichen vor der zweiten Interventionsmaßnahme 90 % der Items mindestens den ersten Grad der Zustimmung, während nach der Intervention noch 80 % der Items mindestens den ersten Grad der Zustimmung erreichen. Nach der zweiten Wissenschaftskommunikationsmaßnahme stimmt er dem Item (8) „Wenn ich über chemische Inhalte sprechen soll, weiß ich immer, wie ich das kontextbezogen umsetze“ kaum noch zu, während er ihm zuvor eher zustimmte. Dem Item (10) „Die Kommunikation meiner Forschung hat einen gesellschaftlichen Mehrwert“ stimmte er zuvor eher zu und anschließend voll und ganz. In den offenen Fragen äußert der Doktorand DM, dass „Describing the very basics was much more difficult then describing something to people who know at least a little bit“. Darüber hinaus äußert er in Bezug auf die partizipative Gestaltung: „(The) Preparation of the night of science together with all participating doctoral students was helpful as everyone knows better how to handle with questions and knows directly what our stand is about“.

8.3 Erhebungen Wissenschaftskommunikation

8.3.1 Vorstudie - Fragebogen

Questionnaire Science Communication

Dear fellow students,

before we are going to have our workshop on **Science Communication** on the 26th of January I would like you to answer this questionnaire.

I would be really pleased if you could answer it as conscientious as possible.

As I would like to draw up another questionnaire in a few months I would like to ask you to *generate a personal but anonymous code* (see below) before you start.

Thank you in advance

Lena

Generate a code

Please generate a code which allows me to draw conclusions about connections when it comes to further surveys.

Please do as follows (examples in brackets)

- 1) First letter of the first name of your mother.
(Mary → M)
- 2) First letter of the first name of your father.
(Tom → T)
- 3) Month of your birthday
(22.04.1990 → 04)
- 4) Last two letters of your place of birth
(Düsseldorf → rf)

The example code would be: MT04rf

Short general questions

1. At which institute do you work?
2. Did you do anything else than your chemistry studies after school (e.g. an apprenticeship)?

Science Communication, ModISC

1. During my first-year studies I already knew what science communication is like.
2. During my first-year studies, I already knew there is research in the field of science communication.
3. Before I joined the GRK I knew there is a subproject called "Science communication and outreach".

Science communication – an overview

1. Science communication is relevant to ensure a permanent macrosocial progress.
2. Scientists can influence the political opinion-forming by communicating their research.
3. Scientists are obliged to communicate their research to the general public because they have a privileged access to information.
4. Scientist should communicate their research to the general public because the research often is funded by taxes.
5. If my performance is already recognised in the scientific community, the communication of my topic to the general public brings even more advantages.
6. If I got support in the area of science communication from an expert, I would like to deal more with it.
7. If I already had courses which dealt with the topic of science communication, I would have been really happy about it.
8. Voluntary offers for further training in the area of science communication on the part of the university would encourage me to deal more with this topic.
9. If I had more time for other things during my PhD-period, I would like to communicate my PhD-topic/ a sub-topic to the general public.
10. The area of science communication is non-transparent.

11. Communicating my PhD-topic to the general public is beneficial for me when I am already recognised in scientific community.
12. If scientists communicate their research to the general public they can influence the political opinion-forming of people.
13. If there were more scientists who made their research macrosocial available the society would benefit.
14. Due to their work scientist have another access to knowledge than the general public. Therefore, they should share what they do with the public.
15. Because even people who are scientifically external invest money to science due to taxes, they should get to know about research results.
16. I would have been very pleased if there were courses on science communication during my studies already.
17. I was even more interested in doing science communication if the university had a bigger voluntary offer for further training.
18. I would like to communicate my topic to the general public if there was more time planned for other things than research during my PhD-period.
19. It is traceable how science communication works.
20. I would like to deal more with the area of science communication if there was an expert who supported me.

Communication skills

1. I can explain very well.
2. I feel safe when I give a lecture.
3. I feel safe when I explain my PhD-topic to others.
4. I know how to summarise easily understandable my PhD-topic for laymen.

8.3.2 Vorstudie - Quantitative Ergebnisse

Tabelle 9: Quantitative Ergebnisse der Vorstudie.

Item	Strongly agree	Agree	Disagree	Strongly disagree
During my first-year studies I already knew what science communication is like.	2	2	11	0
During my first-year studies, I already knew there is research in the field of science communication.	1	1	13	0
Before I joined the GRK I knew there is a subproject called "Science communication and outreach".	6	3	6	0

Item	Strongly agree	Agree	Disagree	Strongly disagree
Science communication is relevant to ensure a permanent macrosocial progress.	5	9	1	0
Scientists can influence the political opinion-forming by communicating their research.	5	8	1	1
Scientists are obliged to communicate their research to the general public because they have a privileged access to information.	0	8	7	0
Scientists should communicate their research to the general public because the research often is funded by taxes.	0	9	5	1
If my performance is already recognized in the scientific community, the communication of my topic to the general public brings even more advantages.	1	6	8	0
If I got support in the area of science communication from an expert, I would like to deal more with it.	0	9	5	1
If I already had courses which dealt with the topic of science communication, I would have been really happy about it.	0	8	6	1
Voluntary offers for further training in the area of science communication on the part of the university would encourage me to deal more with this topic.	0	7	8	0
If I had more time for other things during my PhD-period, I would like to communicate my PhD-topic/ a sub-topic to the general public.	0	6	7	2
The area of science communication is non-transparent.	0	6	9	0

Communicating my PhD-topic to the general public is beneficial for me when I am already recognized in scientific community.	1	8	5	1
If scientists communicate their research to the general public they can influence the political opinion-forming of people.	0	8	2	0
If there were more scientists who made their research macrosocial available the society would benefit.	3	12	0	0
Due to their work scientist have another access to knowledge than the general public. Therefore, they should share what they do with the public.	0	10	5	0
Because even people who are scientifically external invest money to science due to taxes, they should get to know about research results.	0	10	5	0
I would have been very pleased if there were courses on science communication during my studies already.	0	9	4	2
I was even more interested in doing science communication if the university had a bigger voluntary offer for further training.	0	4	9	2
I would like to communicate my topic to the general public if there was more time planned for other things than research during my PhD-period.	0	6	8	1
It is traceable how science communication works.	1	7	7	0
I would like to deal more with the area of science communication if there was an expert who supported me.	0	9	5	1

Item	Strongly agree	Agree	Disagree	Strongly disagree
I can explain very well.	1	9	5	0
I feel safe when I give a lecture.	1	7	7	0
I feel safe when I explain my PhD-topic to laymen.	2	10	3	0
I know how to summarize easily understandable my PhD-topic for laymen.	1	5	9	0

8.3.3 Girls' Day - Pre-Fragebogen

11th of April 2022

Dear ModISC-Doctoral Student,

within my research project, the GirlsDay is also belonging to, I would like to get some estimations of you about yourself.

Please create the code you can see below before you start. It makes it possible to draw conclusions when it comes to a recurrent questionnaire.

Please use the example (see below in the box) as an orientation and put your own code here:

--	--	--	--	--	--

- 1) First letter of the first name of your mother.
(Maria → M)
- 2) First letter of the first name of your father.
(Tom → T)
- 3) Month of your date of birth.
(22. 04.1990 → 04)
- 4) Last two letters of your place of birth.
(Hamburg → rg)

Example code: MT04rg

Please now fill in the questionnaire.

Many thanks in advance,

Lena

	Don't agree	Hardly agree	Slightly agree	Completely agree
I think it is important to know the basics of science communication as a scientist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Don't agree	Hardly agree	Slightly agree	Completely agree
The offers for science communication (project area D) are more a burden than an enrichment for me.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Don't agree	Hardly agree	Slightly agree	Completely agree
If I tell people who are not familiar with the subject about my research, I can impart the content.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
People I told about my research, usually want to get to know more about it.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
It is difficult for me to talk about my research.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
The communication of my research has a social value.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Questions about my research from people who are not familiar with the subject I know to answer offhand.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
The mentoring of pupils at the GirlsDay will not be a problem for me as I can always trust my skills.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
I will be able to answer solution-orientated, when it comes to critical demands of the pupils at the GirlsDay.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
When I need to talk about chemical content, I always know how to do it context-related.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
It is not difficult for me to get people who are not familiar with the subject enthusiastic about my research.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
I will succeed in explaining the content of the experiment to the pupils.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

8.3.4 Nacht der Wissenschaft - Pre-Fragebogen

6th of September 2022

Dear ModISC-Doctoral Student,

within my research project, the GirlsDay is also belonging to, I would like to get some estimations of you about yourself.

Please create the code you can see below before you start. It makes it possible to draw conclusions when it comes to a recurrent questionnaire.

Please use the example (see below in the box) as an orientation and put your own code here:

--	--	--	--	--	--

- 1) First letter of the first name of your mother.
(Maria → M)
- 2) First letter of the first name of your father.
(Tom → T)
- 3) Month of your date of birth.
(22. 04.1990 → 04)
- 4) Last two letters of your place of birth.
(Hamburg → rg)

Example code: MT04rg

Please now fill in the questionnaire.

Many thanks in advance,

Lena

	Don't agree	Hardly agree	Slightly agree	Completely agree
I think it is important to know the basics of science communication as a scientist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Don't agree	Hardly agree	Slightly agree	Completely agree
The offers for science communication (project area D) are more a burden than an enrichment for me.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Don't agree	Hardly agree	Slightly agree	Completely agree
It is not difficult for me to get people who are not familiar with the subject enthusiastic about my research.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
I will be able to answer solution-orientated, when it comes to critical demands of the people at the Night of Science.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
It is difficult for me to talk about my research.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
I will succeed in explaining the content of the experiment to the people at the Night of Science.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

<p>Questions about my research from people who are not familiar with the subject I know to answer offhand.</p>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<p>The participation at the Night of Science will not be a problem for me as I can always trust my skills.</p>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<p>People I told about my research, usually want to get to know more about it.</p>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<p>When I need to talk about chemical content, I always know how to do it context-related.</p>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<p>If I tell people who are not familiar with the subject about my research, I can impart the content.</p>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<p>The communication of my research has a social value.</p>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<p>I am glad that I am involved in the planning of the stand at the Night of Science.</p>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<p>I would like to be more involved into the planning of the stand at the Night of Science.</p>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<p>The support at the stand at the Night of Science will be less stressful for me because I am involved in the planning.</p>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	Don't agree	Hardly agree	Slightly agree	Completely agree
<p>I am glad that I am involved in the planning of the stand at the Night of Science.</p>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<p>I would like to be more involved into the planning of the stand at the Night of Science.</p>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<p>The support at the stand at the Night of Science will be less stressful for me because I am involved in the planning.</p>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3

8.3.5 Girls' Day - Post-Fragebogen

8th of June 2022

Dear ModISC-Doctoral Student,

within my research project, the GirlsDay is also belonging to, I would like to get some estimations of you about yourself and your experience at the Girls'Day.

Please create the code you can see below before you start. It makes it possible to draw conclusions when it comes to a recurrent questionnaire.

Please use the example (see below in the box) as an orientation and put your own code here:

--	--	--	--	--	--

- 1) First letter of the first name of your mother.
(Maria → M)
- 2) First letter of the first name of your father.
(Tom → T)
- 3) Month of your date of birth.
(22. 04.1990 → 04)
- 4) Last two letters of your place of birth.
(Hamburg → rg)

Example code: MT04rg

Please now fill in the questionnaire.

Many thanks in advance,

Lena

	Don't agree	Hardly agree	Slightly agree	Completely agree
I think it is important to know the basics of science communication as a scientist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Don't agree	Hardly agree	Slightly agree	Completely agree
The offers for science communication (project area D) are more a burden than an enrichment for me.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Don't agree	Hardly agree	Slightly agree	Completely agree
If I tell people who are not familiar with the subject about my research, I can impart the content.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
People I told about my research, usually want to get to know more about it.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
It is difficult for me to talk about my research.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
The communication of my research has a social value.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Questions about my research from people who are not familiar with the subject I know to answer offhand.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
The mentoring of pupils at the GirlsDay was not a problem for me as I can always trust my skills.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
I was able to answer solution-orientated, when it came to critical demands of the pupils at the GirlsDay.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
When I need to talk about chemical content, I always know how to do it context-related.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
It is not difficult for me to get people who are not familiar with the subject enthusiastic about my research.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
I succeeded in explaining the content of the experiment to the pupils.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

The following questions are regarded to the training with Lena

1.

Please describe to what extent the Girls' Day preparation training you had on the 11th of April affected your attitude towards the Girls' Day itself.

2.

Explain how the following aspects influenced your attitude towards the Girls' Day:

a) explaining the theoretical background to the girls

b) execution of the experiment in the lab

8.3.6 Girls' Day - Post-Fragebogen - Qualitative Ergebnisse

Tabelle 10: Qualitative Ergebnisse des Post-Fragebogens des Girls' Days.

Person	Please describe to what extent the Girls' Day preparation training you had on the 11th of April affected your attitude towards the Girls' Day itself.	Explain how the <i>explanation of the theoretical backgrounds</i> influenced your attitude towards the Girls' Day.	Explain how the <i>execution of the experiment in the lab</i> influenced your attitude towards the Girls' Day.
I007in	It didn't affect my attitude towards Girls' Day. I used to take part in Girls' Day myself as a pupil.	It was good to know where to start with the students. The theoretical background provided by the slides was therefore useful.	It was extremely good to have done the test yourself beforehand and to know what to look out for in practice.
SG10na	I think the training with Lena was important since from that we could know more about the girls that were involved in the Girls' Day. Lena also shared with us her experience with science communication: she told us what we should know about science communication and how we should present science to people who are not familiar with the subject.	From the training with Lena, I could realize that explaining the theoretical background to the general public requires practice and it needs to be simple and also entertainable.	It was important to do the experiment in the training with Lena, since from the training we could see what types of problems/mistakes the girls could face in the day.
IA09ed	The training day was not necessary for describing and talking to the pupils for me. It was just for getting to know the difficulties of the experiment. Therefore, I think it was useful but not urgently necessary.	I like explaining but I don't know how much of the content will stick to the girls' minds. They said that they understood everything therefore I am satisfied with my explaining.	There was a lot of waiting time for very simple steps. Although the outcome of the experiment was very good and impressive for everyone I would prefer an experiment where less waiting time is included.

DM02ss	Zu Beginn war ich gespannt, wie es auf dem Girls' Day laufen wird und wie interessiert die Schülerinnen sind. Nach dem Training habe ich mich gut vorbereitet gefühlt, was auf die Schülerinnen und mich zukommt.	Vor dem Training wusste ich nicht, dass ich den Schülerinnen den theoretischen Hintergrund zum Experiment erklären muss. Im Training wurde die Theorie vereinfacht, damit diese auch optimalerweise von den Schülerinnen verstanden werden kann. Mir hat es – obwohl ich die Theorie vor Allem für jüngere Schülerinnen als zu schwierig erachtet habe – gut gefallen, wie der theoretische Hintergrund des Experiments veranschaulicht wurde.	Es war sehr gut, dass wir das Experiment einmal selbst durchführen und die gegebenen Materialien ausprobieren konnten, um die Durchführung des Experiments mit den Schülerinnen besser begleiten zu können. Die Präsentation mit den kurzen Erklärvideos für die einzelnen Schritte hat sehr geholfen.
KA04rf	It helped to understand the theoretical background and the program of the Girls' Day. Furthermore, it was a good preparation for the practical part, as we conducted the experiment ourselves.	A good way to search for simple approaches to explain complex reactions/systems so also for me something to learn.	Pretty basic lab work, it easy for the pupils to perform and have a success.
BM05en	Hab ich nicht mitgemacht.	War für mich kein großes Problem und hat mir keine Sorge bereitet.	Kein Problem.

8.3.7 Nacht der Wissenschaft - Post-Fragebogen

6th of October 2022

Dear ModISC-Doctoral Student,

within my research project, the GirlsDay is also belonging to, I would like to get some estimations of you about yourself.

Please create the code you can see below before you start. It makes it possible to draw conclusions when it comes to a recurrent questionnaire.

Please use the example (see below in the box) as an orientation and put your own code here:

--	--	--	--	--	--

- 1) First letter of the first name of your mother.
(Maria → M)
- 2) First letter of the first name of your father.
(Tom → T)
- 3) Month of your date of birth.
(22. 04.1990 → 04)
- 4) Last two letters of your place of birth.
(Hamburg → rg)

Example code: MT04rg

Please now fill in the questionnaire.

Many thanks in advance,

Lena

	Don't agree	Hardly agree	Slightly agree	Completely agree
I think it is important to know the basics of science communication as a scientist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	Don't agree	Hardly agree	Slightly agree	Completely agree
The offers for science communication (project area D) are more a burden than an enrichment for me.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	Don't agree	Hardly agree	Slightly agree	Completely agree
It is not difficult for me to get people who are not familiar with the subject enthusiastic about my research.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
I was able to answer solution-orientated, when it came to critical demands of the people at the Night of Science.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
It is difficult for me to talk about my research.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
I succeeded in explaining the content of the experiment to the people at the Night of Science.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Questions about my research from people who are not familiar with the subject I know to answer offhand.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
The participation at the Night of Science was not be a problem for me as I can always trust my skills.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
People I told about my research, usually want to get to know more about it.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
When I need to talk about chemical content, I always know how to do it context-related.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
If I tell people who are not familiar with the subject about my research, I can impart the content.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
The communication of my research has a social value.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	Don't agree	Hardly agree	Slightly agree	Completely agree
I am glad that I was involved in the planning of the stand at the Night of Science.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
I would have wished to be more involved into the planning of the stand at the Night of Science.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
The support at the stand at the Night of Science was less stressful for me because was involved in the planning.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Please answer the following questions regarding the Night of Science:

1. Which experiences (good/ bad) you made at the Night of Science come to your mind first?

Please describe them (either in keywords or in full sentences).

2. Describe how you felt communicating the ModISC-topics at the Night of Science:

3. To what extend did the possibility to be part of the organization of the content (preceded meetings) influence your attitude towards the Night of Science?

4. Do you have any other comments or suggestions in terms of the Night of Science?

8.3.8 Nacht der Wissenschaft - Post-Fragebogen - Qualitative Ergebnisse

Tabelle 11: Qualitative Ergebnisse des Post-Fragebogens der Nacht der Wissenschaft.

Frage	IW	SG	VLj	KA	DM	SA
<p>Which experiences you made at the Night of Science come to your mind first?</p>	<p>Talking about research can be fun. Topics I am not pretty familiar with, because they are completely out of my daily business, were difficult to explain without any given information.</p>	<p>It was an amazing experience have contacted to different people, some of them with no experience in science and other ones with deep experience in science. Besides that, showing science to kids was an extraordinary experience, they are extremely curious. Another thing was discussing science in a more friendly environment, this was really good.</p>	<p>Bad experience: German is not my native language, and it was not possible to communicate with all the visitors to our booth at the Night of Science, especially the children. I wish I could also talk with them, but it was not so bad after all since the majority of people were fluent in English.</p> <p>Good experience: I enjoyed talking to some people and I got a lot of positive comments about my research.</p>	<p>People showed interest by asking question related to the experiments. Also, a lot of people with scientific background.</p>	<p>- Many people are interested in science</p> <p>- Experiments were well suited for night of science, especially display microscopy was interesting for most of the people</p> <p>- Preparation of the night of science together with all participating doctoral students was helpful as everyone knows better how to handle with questions and knows directly what our stand is about</p>	<p>- Working there together as a team.</p> <p>- Hands-on experiments were also interesting for me in the end</p>

<p>Describe how you felt communicating the ModISC-topics at the Night of Science:</p>	<p>It felt good, people were really interested and enjoyed it.</p>	<p>Completely different experience, which made me think much more about ModISC-topics. Without thinking more deeply into the topic would not be possible to show them in a simpler way.</p>	<p>I had previous experience in science communication only in my native language, and it was a challenge to present to a broader audience in a foreign language. I was worried that people will not understand me, but I think this was not the case. All in all, a positive experience.</p>	<p>It was a good to see the interest in your research topic.</p>	<p>- It was interesting to see which questions people come to their minds, because we have another view on our topics as we deal with them for some time now</p> <p>- Describing the very basics was much more difficult than describing something to people who know at least a little bit</p>	<p>- talking about the areas I do not work in directly was difficult</p>
<p>To what extent did the possibility to be part of the organization of the content influence your attitude towards the NoS?</p>	<p>I was looking forward to the night of science.</p>	<p>It was extremely important to be part of the preceded meeting, since there we could share between us the best way to explain the topics and we also could prepare ourselves challenging questions.</p>	<p>I think that the meetings were helpful and they facilitated our participation at the Night of Science.</p>	<p>It helped to understand what and why the content should be taught. This help preparing and to feel better about the night of science.</p>	<p>- Very important to discuss and develop the night of science together</p> <p>- More motivation for the night of science</p> <p>- Necessary to have some preceded meetings to be better prepared and present our work in an appropriate way</p>	<p>- I am happy with the decisions that were made and that I did not have to organize that much</p> <p>- I think it was well organized</p>

<p>Do you have any other comments or suggestions in term of the Night of Science?</p>	<p>basic information would be nice for stations one is not familiar with, maybe only some small manuscript that everyone tells the true and same information.</p>	<p>I thought it was an amazing event, and during the time I stayed there everything went very well.</p>	<p>I think it would be good the next time to have some kind of script or a written document with the shown experiments. Demonstrators do not need to remember the story exactly as it is written, but just to harmonize their stories and have a rough concept of how far they should go with explaining to different groups of people (e.g. children, high-school pupils, students, etc.).</p>		<p>Not until now.</p>	<p>- Having way bigger posters would have been better to attract people and to let them read it from further away.</p>
--	---	---	---	--	-----------------------	--

8.4 Erprobung Wahlpflichtkurs

8.4.1 Synopsen

Tabelle 12: Synopse der ersten Unterrichtsstunde.

Zeit	Inhalt	Material	Sozialform
8:00 – 8:05	Begrüßung und Vorstellung	PowerPoint	Lehrervortrag
8:05 – 8:10	Vorstellung des Projektes	PowerPoint	Lehrervortrag
8:10 – 8:30	Theorie, Teil 1: Schichtaufbau	PowerPoint, Arbeitsblatt B	Lehrervortrag, Einzelarbeit
8:35 – 8:45	Theorie, Exkurs: Wie entsteht Licht?	PowerPoint	Lehrervortrag
8:45 – 9:10	Theorie, Teil 2: Elektrolumineszenz	PowerPoint Arbeitsblatt C	Lehrervortrag, Einzelarbeit
9:10 – 9:25	Besprechung der Durchführung	PowerPoint Arbeitsblatt A	Lehrervortrag
9:25 – 9:30	Fragen		Plenum

Tabelle 13: Synopse der zweiten Unterrichtsstunde.

Zeit	Inhalt	Material	Sozialform
8:00 – 8:05	Begrüßung	PowerPoint	Lehrervortrag
8:05 – 8:15	Wiederholung der Experimentieranordnung und Anleitung der Arbeitsphase	PowerPoint Arbeitsblatt A	Lehrervortrag
8:15 – 9:20	Arbeitsphase: Durchführung des Experiments Bearbeiten des Arbeitsblatts D	Arbeitsblatt A Arbeitsblatt D	Gruppenarbeit
9:20 – 9:30	Abschlussdiskussion	PowerPoint	Plenum

8.5 Erprobung Schülerlabor iLUP

8.5.1 Synopse

Tabelle 14: Synopse zur Erprobung im Schülerlabor iLUP an der Universität Potsdam.

	Uhrzeit	Phase	Inhalt	Zuständigkeit
0	10:00 - 11:15	Begrüßung und allgemeine Einführung	<ul style="list-style-type: none"> - Begrüßung - Vorstellung + Namensschilder - Input-Vortrag - Erläuterung: Prezi und analoges Arbeiten - Sicherheitsunterweisung - Gruppen einteilen 	Lehrperson Laborant
1	11:15 - 11:30	Übergang ins Labor	<ul style="list-style-type: none"> - Ausgabe der Schutzkleidung - Platzübergabe 	SHKs Laborant Lehrperson
2	11:30 - 11:45	Experiment, Schritt 1: Isolierlack	<ul style="list-style-type: none"> - Vorbereiteter Arbeitsplatz + Arbeitsblätter A-E 	SHKs
3	11:45 - 12:10	Experiment, Schritt 2: Luminophor		SHKs
	12:10 - 12:30	<i>PAUSE</i>	<i>Getränke und Essen (auf dem Campus)</i>	SHKs Lehrperson
4	12:30 - 12:45	Experiment, Schritt 3: PEDOT:PSS		SHKs
5	12:45 - 12:55	Experiment, Schritt 4: Silberleitlack		SHKs
6	12:55 - 13:05	Experiment, Schritt 5: Inverter (+Zeitpuffer)		SHKs
7	13:05 - 13:20	Übergang in den Seminarraum	<ul style="list-style-type: none"> - Rückgabe der Schutzkleidung 	SHKs Lehrperson
8	13:20 - 14:00	Rekapitulation und Abschluss	<ul style="list-style-type: none"> - Erfahrungsberichte SuS - Besprechung der Arbeitsblätter (Schwerpunkt: Arbeitsblatt D) - Theoretische Rekapitulation - Fragebogen von Schüler*innen ausfüllen lassen - Rückfragen 	Lehrperson (Plenum)

8.5.2 Fragebogen

Anonymer Fragebogen zum Labor „Gedruckte Elektronik“

Ich bin

Weiblich ()

Männlich ()

Divers ()

Ich bin ____ Jahre alt.

Nach den Sommerferien besuche ich die Klassenstufe ____ .

1. Kreuze zu jeder Aussage je EINE Antwortmöglichkeit an.

	Stimme überhaupt nicht zu	Stimme nicht zu	Stimme zu	Stimme voll und ganz zu
Ich habe heute etwas Neues gelernt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich habe verstanden, warum die EL-Folie leuchtet.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mir hat das Experiment Spaß gemacht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich fand es einfach, die einzelnen Schichten im Experiment aufzutragen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich fand das Experiment spannend.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich verstehe, warum man für die EL-Folie Wechselstrom benötigt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Für mich war die Rakeltechnik im Experiment zu schwer.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich verstehe, warum man für die EL-Folie Wechselstrom benötigt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Für fand es schwer, das Experiment zu machen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich würde mir so ein Experiment in der Schule wünschen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

(An dieser Stelle wurde mündlich um eine begründete Einschätzung der Nutzung der digitalen und/oder der analogen Durchführungsbeschreibung gebeten.)

8.5.3 Ergebnisse

Tabelle 15: Quantitative Ergebnisse des Schülerlabors iLUP.

	Stimme überhaupt nicht zu	Stimme nicht zu	Stimme zu	Stimme voll und ganz zu
Ich habe verstanden, warum die EL-Folie leuchtet.	0	0	3	10
Für mich war die Rakeltechnik nicht schwer umsetzbar.	0	1	4	8
Ich habe es leicht gefunden, das Experiment durchzuführen.	0	2	4	7

Tabelle 16: Qualitative Ergebnisse des Schülerlabors iLUP.

Nutzung primär digitale Beschreibung	Nutzung beider Beschreibungen
Ich fand es auch gut, dass es [?] gab, nämlich Prezi.	Wir haben Prezi als auch die Anleitung genutzt. Bei der digitalen Variante fand ich es gut, dass sie so anschaulich war. Andererseits wurde das Experiment im Video schlecht durchgeführt.
Digital	Digital und analog benutzt, beides war gut im Mix; wenn ich mich entscheiden müsste: digital.
Wir haben eher die digitale Anleitung benutzt, weil im Video sieht man wie viel man von jedem Stoff benutzt und es war problematisch, wenn auf dem Papier keine Menge stand.	Wir haben sowohl die analoge, als auch die digitale Erklärung genutzt. Die Videos der „Prezi“ waren am hilfreichsten, aber ohne die Erklärttexte hätte es ebenfalls nicht funktioniert. Optimal wäre für mich der Infotext (optional zum Lesen) in der Prezi.
Ich fand die digitale Version ansprechender und die Videos haben sehr bei der Ausführung des Experiments geholfen – auch wenn die Bedienung am Anfang verwirrend war.	Ich habe beides benutzt: Aufbau=Prezi, Zeit und andere Daten=analog
Digital, da es übersichtlicher und tiefgründiger war (→ Video, Text). Analog war aber auch hilfreich.	
Wir haben die digitale Anleitung benutzt. Das hat gut funktioniert, jedoch waren die Erklärungen manchmal etwas sehr umfangreich, auch wenn das nicht nötig gewesen wäre. Die Videos waren aber sehr gut! Daumen hoch.	
Ich habe hauptsächlich Prezi genutzt, was auch unkompliziert und angenehmer war.	
Digital: 10/10	

Nutzung primär analoge Beschreibung:

Ich habe mehr die analoge Variante genutzt, weil ich es leichter finde, wenn man es liest. Als ich mir nicht sicher war, habe ich gerne mal hineingeschaut. Fazit: Beides sollte unbedingt zur Verfügung stehen. Das vorhandene System ist perfekt.

8.6 Arbeitsblätter



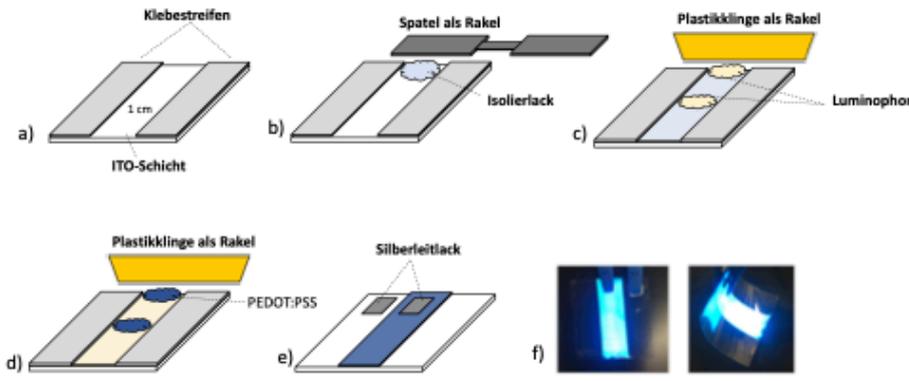
A Bau einer EL-Folie

Materialien:

UV-Gerät	Spatel
Kunststoffklinge	AC-Wechselstromgenerator
Klebeband	Anschlusskabel mit Krokodilklemmen
Heizplatte	Labortücher
Stativ mit Föhn	Handschuhe

Chemikalien:

ITO-Folie	PEDOT:PSS-Tinte
Spraydose mit Isolierlack (Plastik70)	Silberleitlack
Luminophor	



The diagram illustrates the six steps of EL film construction:

- ITO-Schicht:** A substrate with an ITO layer and two adhesive strips (Klebestreifen) spaced 1 cm apart.
- Isolierlack:** A spatula (Spatel) is used to apply insulating varnish (Isolierlack) between the adhesive strips.
- Luminophor:** A plastic knife (Plastikklinge) is used to apply luminophor (Luminophor) between the adhesive strips.
- PEDOT:PSS:** A plastic knife (Plastikklinge) is used to apply PEDOT:PSS between the adhesive strips.
- Silberleitlack:** Silver conductive paint (Silberleitlack) is applied to the adhesive strips.
- Final Product:** The completed EL film is shown glowing under UV light.

Dieses Arbeitsblatt von Lena Halbrügge ist lizenziert unter CC BY-ND 4.0 (Weitergabe ist zulässig).

1



Bitte lies jeden Schritt zunächst vollständig, bevor Du ihn ausführst.

Durchführungsbeschreibung:

- a. Entferne die Schutzfolie von der ITO-Folie. Um die leitfähige Seite der Folie zu identifizieren, nutze das Spannungsmessgerät (2000 Ω). Befestige nun die ITO-Folie mit der leitfähigen Seite nach oben mit Hilfe von zwei Streifen Klebeband auf dem Labortuch. Achte dabei auf eine circa 1 cm breite Lücke in der Mitte.
Hinweis: Die 1 cm breite Lücke definiert den lumineszierenden Bereich des Bauteils.
- b. Trage vorsichtig eine kleine Menge des Isolierlacks aus der Spraydose auf den oberen Teil der Folie auf. Verwende den Spatel, um den Isolierlack gleichmäßig über den mittleren Bereich der Folie zu verteilen. Lege den Spatel längs mit seiner einen Seite auf die obere Kante der leitfähigen Folie, sodass der Isolierlack von hier nach unten verteilt werden kann. Ziehe den Spatel von oben und nach unten und bringe den Isolierlack so gleichmäßig auf den gesamten Bereich zwischen den Klebebandstreifen auf. Wiederhole den Vorgang mehrmals, bis eine gleichmäßige, dünne Schicht vorliegt. Diese Technik bezeichnet man als Rakeltechnik. Lasse die Schicht mindestens 3 Minuten trocknen.
Hinweis: Die Kunststoffklinge ist zum Auftragen des Isolierlacks nicht geeignet!
- c. Ziehe für diesen Schritt bitte **HANDSCHUHE** an. Anschließend entnimmst du eine Spatelspitze des Luminophors und gibst von diesem etwa eine linsengroße Portion je auf den oberen und den mittleren Bereich der Folie. Wiederhole die Rakeltechnik aus Schritt b) mit der Kunststoffklinge bis eine gleichmäßige, dünne Schicht des Luminophors zwischen den beiden Klebestreifen vorhanden ist. Schneide im Anschluss mit einer Schere einmal um die Folie herum, während sie auf dem Labortuch klebt. Lege die auf dem Labortuch klebende Folie für 6 Minuten unter das UV-Gerät. Entferne die Folie anschließend aus dem UV-Gerät und lege sie für mindestens 10 Minuten auf eine Heizplatte ($T= 65^{\circ}\text{C}$).
- d. Entferne die Folie vom Labortuch. Gib Acht, dass dafür die Klebebandstreifen weiterhin auf der Folie kleben und nur vom Labortuch entfernt werden. Klebe die Folie auf ein neues Labortuch. Gebe eine etwa linsengroße Menge der PEDOT:PSS-Tinte mit einem Spatel auf den mittleren Bereich der Folie. Wiederhole die Rakeltechnik mit der Kunststoffklinge bis die PEDOT:PSS-Tinte gleichmäßig auf dem mittleren Bereich der Folie verteilt ist. Trockne die Schicht 5 Minuten mit einem Fön aus circa 10 cm Entfernung.
- e. Entferne das Klebeband vollständig von der ITO-Folie. Bringe zwei linsengroße, möglichst dünne Flächen Silberleitlack auf der beschichteten Seite der Folie an, einen auf der ITO-Folie und den anderen auf der PEDOT:PSS-Schicht. Beachte, dass der Silberleitlack mindestens 1 mm vom Rand entfernt ist. Lasse den Silberleitlack für mindestens 3 Minuten trocknen. Deine EL-Folie ist fertig.
- f. Verbinde den Wechselstromgenerator mit der fertigen EL-Folie, indem du die Krokodilklemmen an die Stellen mit dem Silberleitlack anklemmst. Da Wechselspannung angelegt wird, ist es nicht entscheidend, wo welche Krokodilklemme angeklemt wird. Beim Einschalten des Wechselstromgenerators wird auf beiden Seiten eine hellblaue Elektrolumineszenz zu beobachten sein. Die Folie ist auch im leuchtenden Zustand biegsam.
Sollte die Lumineszenz nicht beobachtbar sein, bitte eine Lehrperson sich das Bauteil anzusehen. Es ist möglich, das Bauteil durch Zuschneiden nicht optimaler Stellen zu reparieren. Schneide das Bauteil nicht alleine, sondern nur mit Unterstützung der Lehrperson zu.

Besondere Sicherheitsvorkehrungen:

Der Wechselstromgenerator arbeitet mit **100V AC!**

Berühre die Elektroden nicht, während das Gerät aktiv ist!

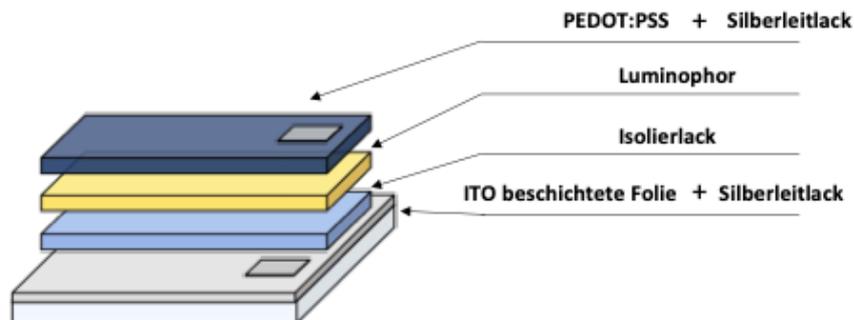
Menschen mit einem **Herzschrittmacher** müssen **Abstand** vom Wechselstromgenerator halten!



B Schichtaufbau

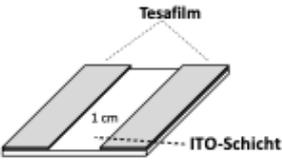
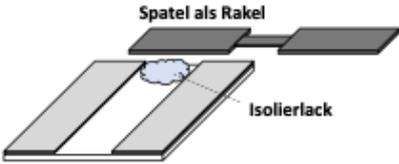
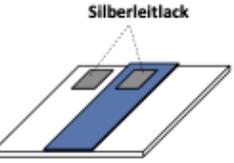
Aufgabe: Lies den Informationstext zum Schichtaufbau und beschrifte die Abbildung.

Beim Drucken von Elektronik müssen verschiedene Aspekte berücksichtigt werden. Zum besseren Verständnis kann man sich ein gedrucktes elektronisches Bauelement (z. B. eine Elektrolumineszenz-Folie) als "Hightech-Sandwich" vorstellen, das aus verschiedenen übereinander gestapelten aktiven Schichten besteht. Ein dünnes flexibles Substrat bildet die Grundlage, auf die alle anderen Schichten Schritt für Schritt gedruckt werden. Das Substrat kann aus Papier, Kunststoff (PET), Glas, Textilien oder anderen geeigneten Materialien bestehen. Im Experiment wird als Substrat eine durchsichtige Kunststoff-Folie verwendet, die durch das Beschichten mit Indiumzinnoxid (ITO) bereits leitfähig ist. Diese Folie kann im Chemie-Fachhandel erworben werden. Aufgrund ihrer Leitfähigkeit bildet die sogenannte ITO-Folie gleichzeitig bereits die Basis-Elektrode. Für den Druckprozess selbst ist es entscheidend, dass die Materialien (Tinten) viskos bereitgestellt werden. Die Tinten werden nacheinander auf das Substrat aufgetragen und müssen, bevor die nächste Schicht aufgetragen werden kann, gesintert (erwärmt) oder unter UV-Licht ausgehärtet werden. Im ersten Schritt wird der Isolierlack aufgetragen. Dieses dient als Isolierschicht, sodass es zwischen den beiden Elektroden nicht zu einem Kurzschluss kommen kann. Nach dem Trocknen des Isolierlacks bei Raumtemperatur, wird der Luminophor (lat. *lumen*: Licht, altgr. *phoros*: tragend) aufgetragen. In unserem Experiment handelt es sich dabei um einen anorganischen Halbleiter: mit Kupfer dotiertes Zinksulfid. Der Luminophor sorgt beim Anlegen einer Spannung an die Folie für die farbige Lumineszenz. Verschiedene Luminophore können verschiedene Farben erzeugen. Nun wird die Top-Elektrode aufgetragen, um in Verbindung mit der Basis-Elektrode einen vollständigen Stromkreis zu bilden. Im Experiment wird hierfür das Polymer PEDOT:PSS verwendet. Zuletzt wird sowohl auf die Basis-, als auch auf die Top-Elektrode punktuell Silberleitlack aufgetragen. Dieser dient jeweils als Kontakt, um dort die Krokodilklemmen zu befestigen. Die Krokodilklemmen verbinden die Folie mit der Spannungsquelle.



C Begründung der einzelnen Experimentierschritte

Aufgabe: Trage in die rechte Tabellenspalte ein, warum du die einzelnen Experimentierschritte durchführst.
Welche Funktion hat jede Schicht in der Elektrolumineszenz-Folie?

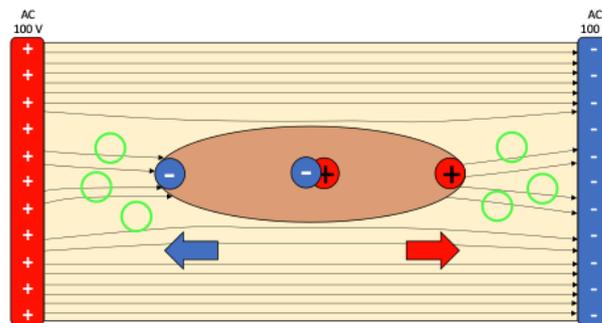
Darstellung des Experimentierschrittes	Funktion der Schicht
 <p>Tesafilm 1 cm ITO-Schicht</p>	<p>Die Klebestreifen werden auf die Folie aufgebracht, um einen Abstandhalter für die weiteren Schichten zu generieren und gleichzeitig eine schichtfreie Fläche für die spätere Kontaktierung herzustellen. Die ITO-Schicht bildet die untere Elektrode des Bauteils.</p>
 <p>Spatel als Rakel Isolierlack</p>	<p>Der Isolierlack wird aufgetragen, damit es aufgrund der hohen Spannung nicht zu Kurzschlüssen in der fertigen Elektrolumineszenz-Folie kommt, wenn sie an die Spannungsquelle angeschlossen wird.</p>
 <p>Plastikklinge als Rakel Luminophor</p>	<p>Die Luminophor-Schicht enthält den Halbleiter. Dieser ist bei Anschluss an die Spannungsquelle für die Lichtemission verantwortlich.</p>
 <p>Plastikklinge als Rakel PEDOT:PSS</p>	<p>Das PEDOT:PSS ist ein leitfähiges Polymer. Es wird aufgetragen, um die obere Elektrode des Bauteils zu bilden.</p>
 <p>Silberleitlack</p>	<p>Das Auftragen des Silberleitlacks ermöglicht eine problemlose Kontaktierung der Elektrolumineszenz-Folie mit Krokodil-Klemmen. Die unter dem Silberleitlack befindliche PEDOT:PSS-Schicht würde durch die Klemmen beschädigt werden.</p>

D Prozesse in der Elektrolumineszenz-Folie

Aufgabe: Beschreibe anhand des Strukturmodells der Elektrolumineszenz-Folie, was in den einzelnen Prozess-Schritten passiert.

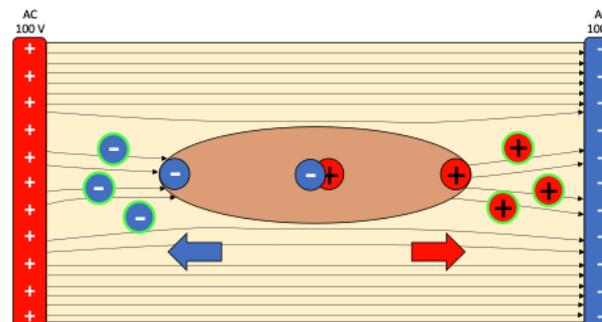
Schritt 1

Beim Anlegen einer Wechselspannung werden die Ladungsträger aufgrund der hohen Feldstärke aus den Enden der Kupfersulfid-Nadel in das Zinksulfid-Wirtsgitter injiziert (bipolare Injektion). Die Ladungsträger wandern zum jeweils entgegengesetzten Pol, die Elektronen zum Plus- und die Löcher zum Minuspol.



Schritt 2

Die Ladungsträger werden in den im Wirtsgitter befindlichen Fallen gefangen.

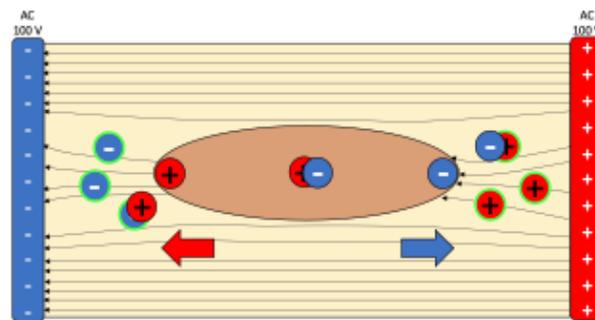


Dieses Arbeitsblatt von Lena Halbrügge ist lizenziert unter CC BY-ND 4.0 (Weitergabe ist zulässig).

1

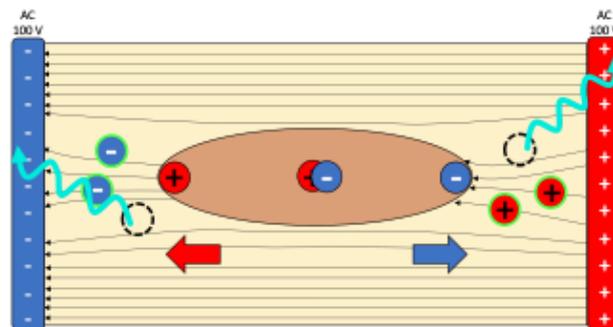
Schritt 3

Nach der Phasenumkehr der Wechselspannung werden die Ladungsträger wieder in Richtung des entgegengesetzten Pols in das Wirtsgitter injiziert. Dadurch wandern die Ladungsträger jetzt in die jeweils andere Richtung als zuvor und treffen auf die noch in den Fallen befindlichen Ladungsträger.



Schritt 4

Die Ladungsträger rekombinieren zu angeregten Zuständen. Bei der Relaxation der angeregten Zustände wird blaues Licht emittiert.



Legende

ZnS:Cu	Cu ₂ S	Elektron	Loch	Bewegungsrichtung der Ladungsträger	Ladungsträger-falle	Lichtemission
--------	-------------------	----------	------	-------------------------------------	---------------------	---------------

Dieses Arbeitsblatt von Lena Halbrügge ist lizenziert unter CC BY-ND 4.0 (Weitergabe ist zulässig).



E Elektrolumineszenz im Energiestufenmodell

Aufgabe: Vervollständige die Abbildung. Hierzu nutze die vorgegebenen Elemente (unter „Einzufügen sind“) sowie den Text.

Bei einer Elektrolumineszenz spricht man von einer Leuchterscheinung (Lumineszenz), welche durch ein elektrisches Feld angeregt wird. Die Elektronen in dem vorliegenden Festkörper, werden in angeregte Zustände gebracht. Aus diesen Zuständen fallen sie zurück in den Grundzustand. Dabei wird Energie in Form von Licht frei.

Um ein Elektron in der lumineszierenden Schicht (*in unserem Experiment: Zinksulfid*) anzuregen und so auf die nächste Energiestufe zu heben, wird viel Energie benötigt.

a)

Die Energie, die benötigt wird um ein Elektron von der höchsten besetzten Energiestufe (HBE) in die niedrigste unbesetzte Energiestufe (NUE) zu heben, ist im Zinksulfid so groß, dass das beim Zurückfallen des Elektrons freiwerdende Licht im ultravioletten und somit nicht mehr im sichtbaren Bereich des Spektrums liegt.

b)

Um diese Energie zu verringern, sodass Lichtenergie im sichtbaren Bereich frei wird, wird das Zinksulfid absichtlich mit Kupfer verunreinigt (dotiert). Bei der Verunreinigung (Dotierung) werden zwei neue Energiestufen, die Aktivator-Energiestufe (AE) oberhalb der HBE und die Co-Aktivator-Energiestufe (CE) unterhalb der NUE hinzugefügt.

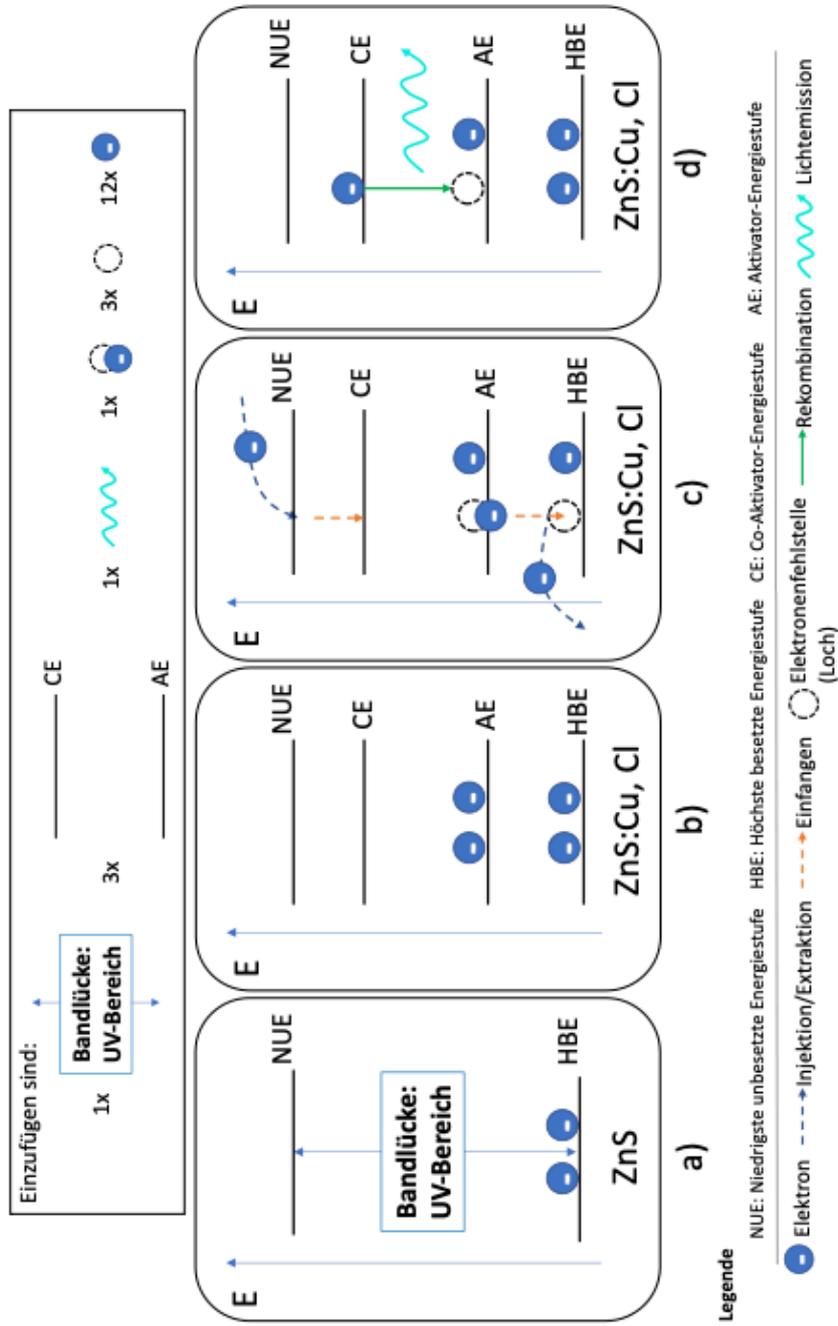
Im Grundzustand des dotierten Zinksulfids sind die höchste besetzte Energiestufe und die Aktivator-Energiestufe mit Elektronen besetzt.

c)

Wenn ein Elektron durch das elektrische Feld aus der höchsten besetzten Energiestufe herausgezogen wird, bleibt eine Elektronenfehlstelle zurück. Diese kann nun von einem Elektron aus der Aktivator-Energiestufe besetzt werden. Das Elektron wird dort eingefangen. Dabei entsteht in der Aktivator-Energiestufe eine Elektronenfehlstelle. Gleichzeitig gibt das elektrische Feld Elektronen in die niedrigste unbesetzte Energiestufe (NUE) hinein. Diese können dort nicht bleiben und fallen auf die Co-Aktivator-Energiestufe (CE) herunter und werden dort eingefangen.

d)

Das Elektron in der Co-Aktivator-Energiestufe kann nun die Elektronenfehlstelle in der Aktivator-Energiestufe besetzen. Der energetische Abstand zwischen der Co-Aktivator-Energiestufe und der Aktivator-Energiestufe ist sehr gering. Die beim Übergang des Elektrons von der Co-Aktivator-Energiestufe in die Aktivator-Energiestufe freiwerdende Energie ist daher sehr klein und Licht im sichtbaren Bereich wird frei. Es kommt zur Lichtemission



8.7 Allgemeine Gefährdungsbeurteilung

<p style="text-align: center;">Allgemeine Gefährdungsbeurteilung</p> <p style="text-align: center;">Eigenbau-Elektrolumineszenz-Folie</p> <p>1. Allgemeine Angaben und Vorprüfungen</p> <p>Fach: Chemie/ Physik Stufe: Übergang Sek. I - Sek. II, Sek. II Durchführung: Schüler und Schülerinnen</p> <p>2. Kurzbeschreibung:</p> <p>Mithilfe von vier verschiedenen Tinten wird ein elektronisches Bauteil gebaut, welches Licht emittieren kann. Anhand eines UV-Gerätes ebenso wie eines Föhns werden die verschiedenen Schichten sukzessive getrocknet und/ oder ausgehärtet, um anschließend die nächste Schicht aufzubringen. Eine der Tinten, ein Luminophor, sollte nur mit Handschuhen bearbeitet werden. Darüber hinaus sollte ein direktes Schauen in das UV-Gerät unbedingt vermieden werden. Auch das Einatmen eines verwendeten Isoliersprühlacks sollte bei Anwendung und Entstehung entsprechender Aerosole vermieden werden.</p> <p>3. Tätigkeitsbeschränkungen</p> <p><u> </u> X - + Generelle Erlaubnis für Lernende und Lehrende <u> </u> o L Beschränkung (Ersatzstoffprüfung) für Lehrende <u> </u> - Generelles Verbot an Schulen <u> </u> - w Verbot für gebärfähige Frauen, werdende oder stillende Mütter <u> </u> - s Verbot in Schülerexperimenten <u> </u> - 5 4. Klasse Verbot in Schülerexperimenten bis einschl. Klasse 4 <u> </u> - 9. Klasse Verbot in Schülerexperimenten bis einschl. Klasse 9 <u> </u> ESP Ersatzstoffprüfung notwendig</p> <p>4. Ersatzstoffprüfung (bei Verzicht mit Begründung)</p> <p>Da das Experiment nicht mit gängigen Chemikalien, sondern mit eigens für das Experiment lange erproben und optimierten Materialien durchgeführt wird, ist eine Ersatzstoffprüfung nicht möglich.</p> <p style="text-align: right;">1</p>	<p style="text-align: center;">5. Eingesetzte Chemikalien und Geräte</p> <p>a) Isolierlack Plastik 70</p> <div style="display: flex; justify-content: center; gap: 20px;">   </div> <p>H222: Extrem entzündbares Aerosol. H229: Behälter steht unter Druck: Kann bei Erwärmung bersten. H319: Verursacht schwere Augenreizung. H336: Kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen.</p> <p>P102: Darf nicht in die Hände von Kindern gelangen. P210: Von Hitze, heißen Oberflächen, Funken, offenen Flammen und sonstigen Entzündungsquellen fernhalten. Nicht rauchen. P211: Nicht gegen offene Flamme oder andere Zündquelle sprühen. P251: Nicht durchstechen oder verbrennen, auch nicht nach Gebrauch. P261: Einatmen von Nebel/Dampf vermeiden. P280: Schutzhandschuhe/Schutzkleidung/Augenschutz/Gesichtsschutz tragen.</p> <p>b) Luminophor Bectron EL 7002</p> <div style="display: flex; justify-content: center; gap: 20px;">   </div> <p>H317: Kann allergische Hautreaktionen hervorrufen. H319: Verursacht schwere Augenreizung. H373: Kann allergische Hautreaktionen verursachen. H411: Giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung.</p> <p>Keine konkreten P-Sätze angegeben.</p> <p style="text-align: right;">2</p>
---	---

**c) PEDOT:PSS
(Poly-(3,4-ethylenedioxythiophen)-poly-(styrolsulfonat))**



H314: Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden
 P280: Schutzhandschuhe/Schutzkleidung/Augenschutz/Gesichtsschutz tragen
 P303: Bei Berührung mit der Haut (oder dem Haar):
 P361: Alle kontaminierten Kleidungsstücke sofort ausziehen.
 P353: Haut mit Wasser abwaschen/duschen.
 P304: Bei Einatmen:
 P340: Die betroffene Person an die frische Luft bringen und in einer Position ruhigstellen, die das Atmen erleichtert.
 P310: Sofort Giftinformationszentrum oder Arzt anrufen.
 P305: Bei Berührung mit den Augen:
 P511: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser ausspülen.
 P338: Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter ausspülen.
 P363: Kontaminierte Kleidung vor erneutem Tragen waschen.
 P405: Unter Verschluss aufbewahren

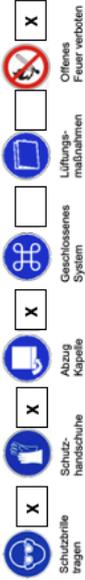
d) Silberleitlack



H226: Flüssigkeit und Dampf entzündbar.
 H336: Kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen.
 P210: Von Hitze, heißen Oberflächen, Funken, offenen Flammen und anderen Zündquellen fernhalten. Nicht rauchen.
 P233: Behälter dicht verschlossen halten.
 P303: Bei Berührung mit der Haut (oder dem Haar):
 P361: Alle kontaminierten Kleidungsstücke sofort ausziehen.
 P353: Haut mit Wasser abwaschen/duschen.
 P235: Kühl halten.
 P403: An einem gut belüfteten Ort aufbewahren.

e) Spannungsinverter
 Der Spannungsinverter arbeitet mit circa 100 V.
 Herzpatienten sollten diesen daher **nicht** bedienen.

6. Sicherheitsvorkehrungen



Schutzbrille tragen
 X
 Schutzhandschuhe
 X
 Abzug Kapelle
 X
 Geschlossenes System
 Lüftungsmassnahmen
 Offenes Feuer verboten
 X

7. Spezielle Sicherheitsvorkehrungen

Es empfiehlt sich den ersten Schritt des Experiments, das Aufbringen des Isoliersprühlaacks, im Abzug durchzuführen. Darüber hinaus sollten für den 2. Schritt, das Aufbringen des Luminophors Bectron EL 2002 Handschuhe getragen werden. Wenn möglich, sollte auch hier im Abzug gearbeitet werden. Auch der letzte Schritt, das Aufbringen des PEDOT:PSS sollte nach Möglichkeit im Abzug durchgeführt werden.
 Während des gesamten Experimentes ist eine Schutzbrille sowie Schutzkleidung zu tragen.
 Die Sicherheitsdatenblätter zu [aJd](#)) befinden sich im digitalen Anhang dieser Arbeit.

8.8 Digitale Durchführungsbeschreibung

QR-Code zur digitalen Durchführungsbeschreibung (Prezi)



Link zur digitalen Durchführungsbeschreibung (Prezi)

<https://prezi.com/view/iE4Ty1O65ne9yN6aVFX3/>

Abkürzungsverzeichnis

AE *Aktivator-Energiestufe*

BMBF *Bundesministerium für Bildung und Forschung*

CE *Co-Aktivator-Energiestufe*

EL *Elektrolumineszenz*

eV *Elektronenvolt*

GRK *Graduiertenkolleg*

HAW *Hochschule für Angewandte Wissenschaften*

HBE *Höchste besetzte Energiestufe*

HOMO *Highest occupied molecular orbital*

iLUP *Innovation Lab Universität Potsdam*

ISC *Intersystem Crossing*

ITO *Indium Tin Oxide*

LUMO *Lowest unoccupied molecular orbital*

ModISC *Modulation of Intersystem Crossing*

NUE *Niedrigste unbesetzte Energiestufe*

OLED *Organic Light Emitting Diode*

PEDOT:PSS *Poly-(3,4-ethylenedioxythiophen)-poly-(styrolsulfonat)*

PSE *Periodensystem*

PUS *Public Understanding of Science*

PUSH *Public Understanding of Sciences and Humanities*

REM *Rasterelektronenmikroskop*

RFID *Radio-Frequency Identification*

RiSU *Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht*

SFB *Sonderforschungsbereich*

V *Volt*

ZnS *Zinksulfid*

Literaturverzeichnis

- Allianz der Wissenschaftsorganisationen (Hrsg.). (2020). *10-Punkte-Plan zur Wissenschaftskommunikation*.
- Bandura, A. (1977). Self-efficacy: Toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological Review*, 84(2), 191–215.
<https://doi.org/10.1037/0033-295X.84.2.191>
- Bandura, A. (1995). Exercise of personal and collective efficacy in changing societies. In A. Bandura (Hrsg.), *Self-Efficacy in Changing Societies* (1. Aufl., S. 1–45). Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511527692.009>
- Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The Exercise of Control*. W.H. Freeman.
https://www.academia.edu/28274869/Albert_Bandura_Self_Efficacy_The_Exercise_of_Control_W_H_Freeman_and_Co_1997_pdf (letzter Zugriff: 21.02.2023)
- Bandura, A. (1998). Self-efficacy. In H. Friedman (Hrsg.), *Encyclopedia of mental health* (S. 1-15). Academic Press.
- Banerji, A. (2012). *Vom Plexiglas zum OLED-Display, Konjugierte Polymere in der curricularen Innovation*. Bergische Universität Wuppertal.
- Banerji, A. (2017). Gestaltung digitaler Lernumgebungen mit PowerPoint und PREZI: Ein Praxisbericht aus der Lehrerbildung. *CHEMKON*, 24(2), 69–72.
<https://doi.org/10.1002/ckon.201710296>
- Banerji, A. (2023). (Unveröff.).
- Banerji, A., Dörschelln, J. & Schwarz, D. (2018a). Organische Leuchtdioden im Chemieunterricht: Vom Forschungslabor ins Klassenzimmer. *Chemie in unserer Zeit*, 52(1), 34–41.
<https://doi.org/10.1002/ciuz.201700795>
- Banerji, A., Kirchmeyer, S., Meerholz, K. & Scharinger, F. (2019). Teaching Organic Electronics - Part II: Quick & Easy Synthesis of the (Semi-)Conductive Polymer PEDOT: PSS in a Snap-Cap Vial. *World Journal of Chemical Education*, 7(2), 166–171.
<https://doi.org/10.12691/wjce-7-2-16>
- Banerji, A., Schönbein, A.-K. & Halbrügge, L. (2018b). Teaching Organic Electronics: The Synthesis of the Conjugated Polymer MEH-PPV in a Hands-on Experiment for Undergraduate Students. *World Journal of Chemical Education*, 6(1), 54–62.
<https://doi.org/10.12691/wjce-6-1-9>
- Barke, H.-D. & Harsch, G. (2011). *Chemiedidaktik kompakt: Lernprozesse in Theorie und Praxis*. Springer Berlin Heidelberg.
<https://doi.org/10.1007/978-3-642-20220-9>

- Barke, H.-D., Harsch, G., Kröger, S. & Marohn, A. (2018). *Chemiedidaktik kompakt*. Springer Berlin Heidelberg.
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-56492-9>
- Bechmann, W. & Schmidt, J. (2000). *Struktur- und Stoffanalytik mit spektroskopischen Methoden*. Vieweg+Teubner Verlag.
- Berni, A., Mennig, M. & Schmidt, H. (2004). Doctor Blade. In M. A. Aegerter & M. Mennig (Hrsg.), *Sol-Gel Technologies for Glass Producers and Users* (S. 89–92). Springer US.
https://doi.org/10.1007/978-0-387-88953-5_10
- Binnewies, M., Finze, M., Jäckel, M., Schmidt, P., Willner, H. & Rayner-Canham, G. (2016). *Allgemeine und Anorganische Chemie* (3. vollständig überarbeitete Auflage). Springer Berlin Heidelberg.
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-45067-3>
- Bowater, L. & Yeoman, K. (2013). *Science communication: A practical guide for scientists*. Wiley.
- Brüggemann, A. (2022). *Wissenschaften in der Coronavirus-Pandemie*.
https://www.dfg.de/download/pdf/foerderung/corona_infos/stellungnahme_pandemic_preparedness.pdf (letzter Zugriff: 07-03.2023)
- Burns, T. W., O'Connor, D. J. & Stocklmayer, S. M. (2003). Science Communication: A Contemporary Definition. *Public Understanding of Science*, 12(2), 183–202.
<https://doi.org/10.1177/09636625030122004>
- Büschges, G. (1989). Gesellschaft. In G. Endruweit & G. Trommsdorf (Hrsg.), *Wörterbuch der Soziologie* (Bd. 1). Enke.
- Chadha, S. S. (1993). Powder electroluminescence. In A. H. Kitai (Hrsg.), *Solid State Luminescence* (S. 159–227). Springer Netherlands.
https://doi.org/10.1007/978-94-011-1522-3_6
- Communicator-Preis 2020 geht an Robert Arlinghaus—Einmaliger Sonderpreis für Christian Drost.* (2020).
https://www.dfg.de/service/presse/pressemitteilungen/2020/pressemitteilung_nr_11/index.html (letzter Zugriff: 20.04.2023)
- Corrado, C., Jiang, Y., Oba, F., Kozina, M., Bridges, F. & Zhang, J. Z. (2009). Synthesis, Structural, and Optical Properties of Stable ZnS:Cu,Cl Nanocrystals. *The Journal of Physical Chemistry A*, 113(16), 3830–3839.
<https://doi.org/10.1021/jp809666t>
- Davies, J. E. & Greenwood, H. (2004). Scholarly communication trends - voices from the vortex: A summary of specialist opinion. *Learned Publishing*, 17(2), 157–167.
<https://doi.org/10.1087/095315104322958544>
- Demtröder, W. (2017). *Experimentalphysik 2* (7. Aufl.). Springer Berlin Heidelberg.
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-55790-7>

- Dialog Wissenschaft und Gesellschaft*. (1999). Wissenschaft im Dialog.
- Dimitrov, D. M. & Rumrill, P. D. (2003). *Pretest-posttest designs and measurement of change*. 159–165.
- Dohmann, J. (2020). *Experimentelle Einführung in die Elektrochemie: Grundlagen - Konzepte - Theorie*. Springer Berlin Heidelberg.
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-59763-7>
- Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. Springer Berlin Heidelberg.
<https://doi.org/10.1007/978-3-642-41089-5>
- Dörschelln, J. (2019). *Organische Leuchtdioden: Implementation eines innovativen Themas in den Chemieunterricht*. Logos Verlag.
- Egger, J. W. (2015). *Integrative Verhaltenstherapie und psychotherapeutische Medizin: Ein biopsychosoziales Modell*. Springer Fachmedien Wiesbaden.
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-06803-5>
- Ernst, H. (2001). Perfektion, Konzentration, Meisterschaft: Das Geheimnis der Könner. *Psychologie Heute*, 28(1).
- Fähnrich, B. & Schäfer, M. S. (2020). Wissenschaftskommunikation zwischen Gesellschafts-, Wissenschafts- und Medienwandel. *Publizistik*, 65(4), 515–522.
<https://doi.org/10.1007/s11616-020-00623-2>
- Fang, X., Wu, L. & Hu, L. (2011). ZnS Nanostructure Arrays: A Developing Material Star. *Advanced Materials*, 23(5), 585–598.
<https://doi.org/10.1002/adma.201003624>
- Fischer, A. G. (1962). Electroluminescent Lines in ZnS Powder Particles. *Journal of The Electrochemical Society*, 109(11).
<https://doi.org/10.1149/1.2425233>
- Fischer, A. G. (1963). Electroluminescent Lines in ZnS Powder Particles. *Journal of The Electrochemical Society*, 110(7).
<https://doi.org/10.1149/1.2425863>
- Fleiß, J. (2010). Paul Lazarsfelds typologische Methode und die Grounded Theory. Generierung und Qualität von Typologien. *Österreichische Zeitschrift für Soziologie*, 35(3), 3–18.
<https://doi.org/10.1007/s11614-010-0060-1>
- Flick, U. (1991). Stationen des qualitativen Forschungsprozesses. In U. Flick, E. von Kardorff, H. Keupp, L. von Rosenstiel, & S. Wolff (Hrsg.), *Handbuch qualitative Sozialforschung: Grundlagen, Konzepte, Methoden und Anwendungen* (S. 147–173). Psychologie-Verl.-Union.

- Flick, U., Kardorff, E. von & Steinke, I. (2013). Was ist qualitative Forschung? Einleitung und Überblick. In U. Flick, E. von Kardorff, & I. Steinke (Hrsg.), *Qualitative Forschung. Ein Handbuch* (10. Aufl., S. 13–29). Rowohlt.
- Forst, D., Kolb, M. & Roßwag, H. (1993). *Chemie für Ingenieure*. Springer Berlin Heidelberg.
- Fuchs, C. (2005). *Selbstwirksam lernen im schulischen Kontext. Kennzeichen—Bedingungen—Umsetzungsbeispiele*.
<https://doi.org/10.25656/01:5481>
- Gantenberg, J. (2018). *Wissenschaftskommunikation in Forschungsverbänden*. Springer Fachmedien Wiesbaden.
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-18607-4>
- Garvey, W. D. (1979). *Communication, the essence of science: Facilitating information exchange among librarians, scientists, engineers, and students*. Pergamon Press.
- Gregory, J. & Miller, S. (2000). *Science in public: Communication, culture, and credibility* (1. paperback print). Basic Books.
- Grundsatzpapier des Bundesministeriums für Bildung und Forschung zur Wissenschaftskommunikation*. (2019). 7.
- Gust, F. (2022). *Das Self-assemblyLAB: Entwicklung, Erprobung und Optimierung eines curricular innovativen Schülerlabors zum Thema Self-assembly* (A. Marohn, Hrsg.). Logos Verlag Berlin.
- Hagenhoff, S., Seidenfaden, L., Ortelbach, B. & Schumann, M. (2007). *Neue Formen der Wissenschaftskommunikation: Eine Fallstudienuntersuchung*. Göttingen University Press.
<https://doi.org/10.17875/gup2007-208>
- Halbrügge, L. (2019). *Entwicklung einer Eigenbau-EL-Folie als Experiment für die Lehre der Naturwissenschaften*.
- Halbrügge, L., Banerji, A. & Meerholz, K. (2022). Hello future! Printed electronics as a hands-on-experiment for teaching science in high schools and universities. *CHEMKON*, 29(S1), 355–361.
<https://doi.org/10.1002/ckon.202200030>
- Halbrügge, L., Banerji, A. & Rösler, S. (2021). Hello Future! Printed Electronics as a Hands-On Experiment for Science Teaching. *World Journal of Chemical Education*, 9(4), 104–110.
<https://doi.org/10.12691/wjce-9-4-2>
- Harris, P., den Engelsen, D., Fern, G. & Silver, J. (2017). AC electroluminescent lamps: Shedding some light on their mysteries. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28(10), 7006–7012.
<https://doi.org/10.1007/s10854-016-5965-4>

- Haug, G. (2023). *Schneller, höher, weiter? Wissenschaftskommunikation in Zeiten der multiplen Krise*.
https://www.leopoldina.org/fileadmin/redaktion/Mitglieder/Praesident/2023_Redde_GeraId_Haug_Joint_Academy_Day_der_ÖAW.pdf (letzter Zugriff: 03.04.2023)
- Heering, P. & Kremer, K. (2018). Nature of Science. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 105–119). Springer Berlin Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-662-56320-5_7
- Herrmann-Giovanelli, I. (2013). *Wissenschaftskommunikation aus der Sicht von Forschenden: Eine qualitative Befragung in den Natur- und Sozialwissenschaften*. UVK Verlagsgesellschaft.
- Hillmer, H. & Salbeck, J. (2005). Materialien der Optoelektronik—Grundlagen und Anwendungen. In R. Kassing (Hrsg.), *Lehrbuch der Experimentalphysik* (Bd. 6, S. 707–820). De Gruyter.
<https://doi.org/10.1515/9783110198157.707>
- Höltgen, S. (Hrsg.). (2020). 5. Halbleiter. In *Mathematik, Physik, Chemie* (S. 319–326). De Gruyter.
<https://doi.org/10.1515/9783110496277-031>
- Imhof, M. (2012). *Psychologie für Lehramtsstudierende*. Springer Fachmedien Wiesbaden.
<https://doi.org/10.1007/978-3-531-19861-3>
- Jerusalem, M. & Satow, L. (1999). Schulbezogene Selbstwirksamkeitserwartung. In R. Schwarzer & M. Jerusalem (Hrsg.), *Skalen zur Erfassung von Lehrer- und Schülermerkmalen: Dokumentation der psychometrischen Verfahren im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung des Modellversuchs Selbstwirksame Schulen* (S. 15–16). R. Schwarzer.
- Kaden, B. (2009). *Library 2.0 und Wissenschaftskommunikation*. Simon-Verl. für Bibliothekswissen.
- Kelle, U. & Kluge, S. (2010). *Vom Einzelfall zum Typus: Fallvergleich und Fallkontrastierung in der qualitativen Sozialforschung* (2., überarbeitete Auflage). VS Verlag.
- Krapp, A. & Ryan, R. M. (2002). Selbstwirksamkeit und Lernmotivation. Eine kritische Betrachtung der Theorie von Bandura aus der Sicht der Selbstbestimmungstheorie und der pädagogisch-psychologischen Interessentheorie. *Selbstwirksamkeit und Motivationsprozesse in Bildungsinstitutionen, Beiheft* (44), 54–83.
<https://doi.org/10.25656/01:3931>
- Kuckartz, U. & Rädiker, S. (2022). *Qualitative Inhaltsanalyse: Methoden, Praxis, Computerunterstützung: Grundlagentexte Methoden* (5. Auflage). Beltz Juventa.
- Kurath, M. & Gisler, P. (2009). Informing, involving or engaging? Science communication, in the ages of atom-, bio- and nanotechnology. *Public Understanding of Science*, 18(5), 559–573.
<https://doi.org/10.1177/0963662509104723>

- Kurzweil, P., Frenzel, B. & Gebhard, F. (Hrsg.). (2008). *Physik Formelsammlung: Für Ingenieure und Naturwissenschaftler* (1. Aufl). Vieweg.
- Lazarsfeld, P. & Barton, A. H. (1951). Qualitative Measurement in Social Sciences. Classification, Typologies, and Indices. *The Policy Sciences. Recent Development in Scope and Method*, 155–192.
- Lazarsfeld, P. F. (1937). Some Remarks on the Typological Procedures in Social Research: *Zeitschrift für Sozialforschung*, 6(1), 119–139.
<https://doi.org/10.5840/zfs193761137>
- Leithwood, K. A. (1981). The Dimensions of Curriculum Innovation. *Journal of Curriculum Studies*, 13(1), 25–36.
<https://doi.org/10.1080/0022027810130104>
- Logan, R. A. (2001). Science Mass Communication: Its Conceptual History. *Science Communication*, 23(2), 135–163.
<https://doi.org/10.1177/1075547001023002004>
- Lüthje, C. (2012). Mediatisierte Wissenschaft: Eine theoretische Konzeption tiefgreifender Transformationsprozesse. In C. Y. Robertson-von Trotha & J. Muñoz Morcillo (Hrsg.), *Öffentliche Wissenschaft und Neue Medien: Die Rolle der Web 2.0-Kultur in der Wissenschaftsvermittlung*. KIT Scientific Publishing.
- Matossi, F. (1957). *Elektrolumineszenz und Elektrophotolumineszenz*. Vieweg+Teubner Verlag.
<https://doi.org/10.1007/978-3-322-99134-8>
- Mauch, R. H. (1996). Electroluminescence in thin films. *Applied Surface Science*, 92, 589–597.
[https://doi.org/10.1016/0169-4332\(95\)00301-0](https://doi.org/10.1016/0169-4332(95)00301-0)
- Mayring, P. (2020). Qualitative Forschungsdesigns. In G. Mey & K. Mruck (Hrsg.), *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie: Band 2: Designs und Verfahren* (S. 3–17). Springer Fachmedien Wiesbaden.
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-26887-9>
- Mejlgaard, N. & Stares, S. (2010). Participation and competence as joint components in a cross-national analysis of scientific citizenship. *Public Understanding of Science*, 19(5), 545–561.
<https://doi.org/10.1177/0963662509335456>
- Merton, R. K. (1985). *Entwicklung und Wandel von Forschungsinteressen: Aufsätze zur Wissenschaftssoziologie* (1. Aufl). Suhrkamp.
- Meuter, N. (2018). *Photolumineszenz und Photochromie in Lösungen und in Feststoffmatrices—Interaktionsbox Photo-Mol*.
- Nelkowski, H. (1981). 4. Lumineszenz und Photoleitung. In H. Gobrecht, H. Bucka, L. Bergmann, C. Schaefer, & K. Becker (Hrsg.), *Aufbau der Materie* (S. 755–823). De Gruyter.
<https://doi.org/10.1515/9783111579696-020>

- Nielsen, K. H. (2012). Scientific Communication and the Nature of Science. *Science & Education*, 22(9), 2067–2086.
<https://doi.org/10.1007/s11191-012-9475-3>
- Nölleke, D., Hanusch, F. & Leonhardt, B. (2022). *Wissenschaftskommunikation in der COVID-19-Pandemie: Einblicke und Erfahrungen österreichischer Expert:innen*. Universität Wien, Institut für Publizistik- und Kommunikationswissenschaft.
- Nöth, W. (2000). Nonverbale Kommunikation. In W. Nöth, *Handbuch der Semiotik* (S. 293–322). J.B. Metzler.
https://doi.org/10.1007/978-3-476-03213-3_5
- Oppen, G. von, Busch, M. & Lüders, K. (2015). *Quantenphysik: Atomare Teilchen und Festkörper*. Walter de Gruyter GmbH.
- Pansegrau, P., Taubert, N. & Weingart, P. (2011). *Wissenschaftskommunikation in Deutschland*.
- Parchmann, I., Schwarzer, S., Wilke, T., Tausch, M. & Waitz, T. (2017). Von Innovationen der Chemie zu innovativen Lernanlässen für den Chemieunterricht und darüber hinaus: Wie finden chemische Forschung und Entwicklung systematisch und zeitnah Eingang in unterrichtliche und außerunterrichtliche Lernprozesse? *CHEMKON*, 24(4), 161–164.
<https://doi.org/10.1002/ckon.201790001>
- Reiners, C. S. & Saborowski, J. (2017). Wissensvermittlung durch Transformation. In C. S. Reiners (Hrsg.), *Chemie vermitteln* (S. 33–90). Springer Berlin Heidelberg.
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-52647-7>
- Reinfried, S., Mathis, C. & Kattmann, U. (2009). *Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion. Eine innovative Methode zur fachdidaktischen Erforschung und Entwicklung von Unterricht*.
<https://doi.org/10.25656/01:13710>
- Reinmann, G. (2022). *Reader zu Design-Based Research (DBR)*. https://gabi-reinmann.de/wp-content/uploads/2022/11/Reader_DBR_Nov-2022.pdf (letzter Zugriff: 28.03.2023)
- Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht.* (2019).
https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/1994/1994_09_09-Sicherheit-im-Unterricht.pdf (letzter Zugriff: 10.05.2023)
- Rödter, S. (2009). *Wahrhaft sichtbar*. Nomos.
<https://doi.org/10.5771/9783845218076>
- Roe, A. (1952). *The Making of a Scientist*. Dodd, Mead & Company.
- Rost, M. & Wefel, S. (2013). *Elektronik für Informatiker: Von den Grundlagen bis zur Mikrocontroller-Applikation*. DE GRUYTER.
<https://doi.org/10.1524/9783486720150>

- Ruhrmann, G. & Daube, D. (2020). Wissenschaftskommunikation in der Pandemie. Qualität und Perspektiven. *G+G Wissenschaft*, 20(4), 7–14.
- Saleh, B. E. A. & Teich, M. C. (2008). *Grundlagen der Photonik* (M. Bär, Übers.; 1. Auflage, deutsche Übersetzung von: 2., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage des Werkes). Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Schäfer, M. S. (2008). Medialisierung der Wissenschaft? Empirische Untersuchung eines wissenschaftssoziologischen Konzepts / “Medialization” of Science? Empirical Assessment of a Sociological Concept. *Zeitschrift für Soziologie*, 37(3), 206–225. <https://doi.org/10.1515/zfsoz-2008-0302>
- Schäfer, M. S. (2009). From Public Understanding to Public Engagement: An Empirical Assessment of Changes in Science Coverage. *Science Communication*, 30(4), 475–505. <https://doi.org/10.1177/1075547008326943>
- Schäfer, M. S., Kristiansen, S. & Bonfadelli, H. (Hrsg.). (2015). *Wissenschaftskommunikation im Wandel*. von Halem.
- Schecker, H., Parchmann, I. & Krüger, D. (2014). Formate und Methoden naturwissenschaftsdidaktischer Forschung. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 1–18). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-37827-0>
- Scherz, U. (2005). Grundlagen der Festkörperphysik. In R. Kassing (Hrsg.), *Lehrbuch der Experimentalphysik* (2., überarb. Aufl, Bd. 6). de Gruyter.
- Schewe, M. & Rost, H. (2012). *Leitfähig, transparent und flexibel*.
- Schiebelsberger, A. (2022). *Lehrerpersönlichkeit durch Selbstwirksamkeit*.
- Schmidt, A. (2018). Interaktion und Kommunikation. In D. Hoffmann & R. Winter (Hrsg.), *Mediensoziologie: Handbuch für Wissenschaft und Studium* (1. Auflage). Nomos.
- Schmidt, P. (2019). *Allgemeine Chemie*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-57846-9>
- Schrenker, K. (2012). *Vom Ich zum Du zum Wir*. Centaurus Verlag & Media. <https://doi.org/10.1007/978-3-86226-843-6>
- Schwarzer, R. & Jerusalem, M. (1999). Allgemeine Selbstwirksamkeitserwartung. In R. Schwarzer & M. Jerusalem (Hrsg.), *Skalen zur Erfassung von Lehrer- und Schülermerkmalen: Dokumentation der psychometrischen Verfahren im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung des Modellversuchs Selbstwirksame Schulen* (S. 13–14). R. Schwarzer.
- Schwarzer, R. & Jerusalem, M. (2002). Das Konzept der Selbstwirksamkeit. *Selbstwirksamkeit und Motivationsprozesse in Bildungsinstitutionen*, Beiheft (44), 28–53. <https://doi.org/10.25656/01:3930>

- Schwarzer, R. & Schmitz, G. S. (1999). Skala zur Lehrer-Selbstwirksamkeitserwartung. In R. Schwarzer & M. Jerusalem (Hrsg.), *Skalen zur Erfassung von Lehrer- und Schülermerkmalen: Dokumentation der psychometrischen Verfahren im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung des Modellversuchs Selbstwirksame Schulen* (S. 60–61). R. Schwarzer.
- Seethaler, E. (2012). *Selbstwirksamkeit und Klassenführung. Eine empirische Untersuchung bei Lehramtsstudierenden*. Passau.
- Sixl, H., Schenk, H. & Yu, N. (1998). Flächenleuchtdioden aus Polymeren. *Physikalische Blätter*, 54(3). <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/phbl.19980540308> (letzter Zugriff: 30.04.2023)
- Sowka, A. (2016). *Wissenschaftskommunikation zwischen Sozialforschung und Praxis*. Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-11354-4>
- Steinbuch, K. (1977). Denken in Modellen. In G. Schaefer, G. Trommer, & K. Wenk (Hrsg.), *Denken in Modellen* (S. 10–17). Westermann.
- Stohrer, W.-D. (1998). Die konzeptionellen und theoretischen Grundlagen der Photochemie. In D. Wöhrle, M. W. Tausch, & W.-D. Stohrer, *Photochemie: Konzepte, Methoden, Experimente* (S. 5–82). Wiley-VCH.
- Tanaka, S., Kobayashi, H., Sasakura, H. & Miura, N. (2007). Electroluminescence materials, Inorganic electroluminescence. In W. M. Yen, S. Shionoya, & H. Yamamoto (Hrsg.), *Phosphor handbook* (2. Aufl., S. 709–720). CRC Press/Taylor and Francis.
- Tausch, M. (2019). *Chemie mit Licht: Innovative Didaktik für Studium und Unterricht*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-60376-5>
- Tausch, M. W. (2008). Innovation und Bildung durch Chemie: Aktivierung der Kommunikation von Chemie in Lehre und Gesellschaft. In H. Güsten & H. Reinermann (Hrsg.), *Die Chemie zwischen Hoffnung und Skepsis: Wege zur Vertiefung von Wissen und Verständnis in Chemie und Technik* (1. Aufl., S. 51–91). Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG. <https://doi.org/10.5771/9783845210056-51>
- Tiemann, R. & Körbs, C. (2014). Die Fragebogenmethode, ein Klassiker der empirischen didaktischen Forschung. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 283–296). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-37827-0>
- Verstraelen, S. I. & Hecker, K. (2019). *Gedruckte Elektronik ist im Alltag angekommen*. <https://www.chemanager-online.com/system/files/flipcatalogue/public/211952/index.html> (letzter Zugriff: 12.05.2023)
- Voigt, K. (2012). *Informelle Wissenschaftskommunikation und Social Media*. Frank & Timme.

- Warkentin, M., Bridges, F., Carter, S. A. & Anderson, M. (2007). Electroluminescence materials ZnS:Cu,Cl and ZnS:Cu,Mn,Cl studied by EXAFS spectroscopy. *Physical Review B*, 75(7), 075301.
<https://doi.org/10.1103/PhysRevB.75.075301>
- Weber, B. (2014). *Koordinationschemie: Grundlagen und aktuelle Trends*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-41685-9>
- Weber, M. (2011). *Wissenschaft als Beruf* (11. Aufl.). Duncker & Humblot. <https://doi.org/10.3790/978-3-428-53509-5>
- Wellach, I. (Hrsg.). (2011). *Praxisbuch EEG: Einführung in die Beurteilung, Befundung und Differenzialdiagnose* (S. b-002-41860). Georg Thieme Verlag. <https://doi.org/10.1055/b-002-41860>
- Werber, N. (2022). Publizität in der Corona-Krise: Zum Diabolischen der Wissenschaftskommunikation. In K. Hahn & A. Langenohl (Hrsg.), *„Öffentliches Leben“: Gesellschaftsdiagnose Covid-19* (S. 39–64). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-37440-2_3
- Wiberg, E., Wiberg, N. & Holleman, A. F. (2017). *Anorganische Chemie* (103. Auflage). De Gruyter.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Projektbereiche im Graduiertenkolleg ModISC.	3
Abbildung 2: Graphische Darstellung von BANDURAS Definition zur Selbstwirksamkeitserwartung (in Anlehnung an: Fuchs, 2005, S. 17).....	23
Abbildung 3: Die Curriculare Innovation als Halbleiter zwischen Unterrichtsinhalten und fachwissenschaftlicher Forschung (in Anlehnung an: Gust, 2022, S. 15).....	29
Abbildung 4: Funktionsmodell der Curricularen Innovationsforschung (Parchmann et al., 2017, S. 162).	30
Abbildung 5: Phasenmodell der Curricularen Innovationsforschung (in Anlehnung an: Banerji, 2023).....	35
Abbildung 6: Übersicht des Forschungsdesigns. Der in der Teilstudie dargestellte Ausschnitt des Phasenmodells wurde in Anlehnung an BANERJI (2023) erstellt.....	38
Abbildung 7: Ausbildung der Molekülorbitale zweier Atomorbitale des Lithiums (in Anlehnung an: Binnewies et al., 2016, S. 142).	41
Abbildung 8: Ausbildung von n Molekülorbitalen aus n Atomorbitalen des Lithiums: Entstehung der Energiebänder (in Anlehnung an: Binnewies et al., 2016, S. 142).	42
Abbildung 9: Bandstruktur im Ortsraum, Einführung der Elektronenfehlstelle (in Anlehnung an: Hillmer & Salbeck, 2005, S. 725).	44
Abbildung 10: Schematische Darstellung der n-dotierten (a) und der p-dotierten (c) Gitterstruktur sowie des je korrespondierenden Bänderschemas der n-Dotierung (b) und der p-Dotierung (d) (in Anlehnung an Hillmer & Salbeck, 2005, S. 726, modifiziert nach Binnewies et al., 2016, S. 144).	46
Abbildung 11: Übersicht verschiedener elektronischer Übergänge im Bändermodell (in Anlehnung an: Hillmer & Salbeck, 2005, S. 727).	48
Abbildung 12: Jablonski-Diagramm (in Anlehnung an: Kurzweil et al., 2008, S. 335).....	50
Abbildung 13: Typische Struktur eines AC-Elektrolumineszenz-Bauteils (in Anlehnung an: Tanaka et al., 2007, S. 710).	55
Abbildung 14: Schema der handgedruckten Elektrolumineszenz-Folie (in Anlehnung an: Halbrügge et al., 2021, S. 104).	56
Abbildung 15: Schematische Darstellung des an den Nadelspitzen des Cu ₂ S-induzierten, starken elektrischen Feldes. Das Cu ₂ S als Leiter wird in Form einer Nadel abgebildet (in Anlehnung an: Fischer, 1963, S. 735).....	58

Abbildung 16: Schematische Darstellung des Bändermodells bei gleichzeitiger Injektion von Elektronen und Löchern in das Wirtsgitter aus den je gegenüberliegenden Seiten der Kupfersulfid-Nadel (in Anlehnung an: Tanaka et al., 2007, S. 713).	58
Abbildung 17: Prototyp der hands-on Elektrolumineszenz-Folie (angelehnt an: Halbrügge, 2019, S. 52).	63
Abbildung 18: Struktur des PEDOT:PSS (in Anlehnung an: Banerji et al., 2019, S. 167).	64
Abbildung 19: Schritt 1 - Vorbereitung und Isolierlack.	68
Abbildung 20: Schritt 2 - Farbe auftragen, aushärten und trocknen.	69
Abbildung 21: Schritt 3 - PEDOT:PSS auftragen und trocknen.	69
Abbildung 22: Schritt 4 - Silberleitlack auftragen und Anschluss des Bauteils an Spannungsquelle.	70
Abbildung 23: Ausschnitt aus der ersten Version der Prezi-Lernumgebung.	71
Abbildung 24: Anschauungsmodell des gesamten Bauteils mit submikroskopischem Fokus auf die Luminophor-Schicht (in Anlehnung an: Halbrügge et al., 2021, S. 108).	73
Abbildung 25: Strukturmodell der Prozesse in der EL-Folie: Die Luminophor-Schicht unter Einfluss des elektrischen Wechselfeldes. 1) Ladungsträger werden aus den Cu ₂ S-Kristallen in das ZnS-Wirtsgitter mit Fallen induziert. 2) Die Ladungsträger bewegen sich in Richtung der Elektroden und werden auf dem Weg in den Fallen des Wirtsgitters gefangen. 3) Durch die Feldumkehr des Wechselfeldes erfolgt ein Wechsel der Richtung der bipolaren Injektion. Die neu injizierten Ladungsträger treffen auf gefangene Ladungsträger mit gegensätzlicher Ladung. 4) Die gefangenen Elektronen und Löcher rekombinieren unter Lichtemission (in Anlehnung an: Halbrügge et al., 2021, S. 109).	74
Abbildung 26: Vom Schalenmodell zum Energiestufenmodell (Halbrügge et al., 2022, S. 358).	76
Abbildung 27: Energiestufenmodell der Prozesse in der Elektrolumineszenz-Folie (in Anlehnung an: Halbrügge et al., 2022, S. 358).	77
Abbildung 28: Arbeitsblatt B – Schichtaufbau.	80
Abbildung 29: Einschätzungen der Schüler in Bezug auf a) das Verständnis: Ich habe verstanden, warum die EL-Folie leuchtet, b) die Rakeltechnik: Für mich war die Rakeltechnik nicht schwer umsetzbar, und c) die Durchführbarkeit des gesamten Experimentes: Ich habe es leicht gefunden, das Experiment durchzuführen. Die Werte A-D stellen die Stufen der Likertskala dar, A: Stimme überhaupt nicht zu, B: Stimme nicht zu, C: Stimme zu, D: Stimme voll und ganz zu.	87
Abbildung 30: REM-Aufnahme vom Querschnitt der hands-on Elektrolumineszenz-Folie (Halbrügge et al., 2022, S. 359).	91

Abbildung 31: Emissionsspektrum der hands-on Elektrolumineszenz-Folie (Halbrügge et al., 2022, S. 360).....	92
Abbildung 32: Teilstudie II in der Übersicht des Forschungsdesigns.	94
Abbildung 33: Relevante Vergleichsdimensionen zur Bildung von Wissenschaftskommunikationstypen.	108
Abbildung 34: Pre-Post-Design für die Interventionsmaßnahmen in der Hauptstudie.....	117
Abbildung 35: Übersicht aller Bausteine zur Wissenschaftskommunikation im Graduiertenkolleg.....	119
Abbildung 36: Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen im Graduiertenkolleg; Einsatz der graduiertenkollegbezogenen Unterrichtseinheit (siehe Kapitel 5).	120
Abbildung 37: Darstellung der Ergebnisse der Items 1A-C als Säulendiagramm. 1A: Ich wusste bereits während meines Studiums, was Wissenschaftskommunikation ist, 1B: Ich wusste bereits während meines Studiums, dass es Forschung im Bereich Wissenschaftskommunikation gibt, 1C: Vor meinem Eintritt in das GRK wusste ich, dass es einen Projektbereich „Science Communication and Outreach“ geben wird.....	152
Abbildung 38: Darstellung der Ergebnisse der Items 3A-D als Säulendiagramm. 3A: Ich kann gut erklären, 3B: Ich fühle mich sicher, wenn ich einen Vortrag halte, 3C: Ich fühle mich sicher, wenn ich anderen von meinem PhD-Thema erzähle, 3D: Ich weiß, wie ich mein PhD- Thema auf einfachem Weg für Laien zusammenfassen kann.	153
Abbildung 39: Darstellung der Ergebnisse zu These T1 (Gesellschaftlicher Fortschritt) und These T2 (Politische Meinung). These T1: Die Wissenschaftler finden Wissenschaftskommunikation wichtig, um einen gesamtgesellschaftlichen Fortschritt zu sichern. These T2: Die Wissenschaftler halten es für möglich, dass die Kommunikation von wissenschaftlichen Ergebnissen Einfluss auf die politische Meinungsbildung nehmen kann.	154
Abbildung 40: Darstellung der Ergebnisse zu These T3 (Privileg) und These T4 (Steuergelder). These T3: Die Wissenschaftler halten es für die Pflicht von Forschenden, ihre Ergebnisse der Öffentlichkeit mitzuteilen, da sie einen privilegierten Zugang zur Wissenschaft haben. These T4: Die Wissenschaftler denken, dass Forschende ihre Forschung kommunizieren sollten, da diese von Steuergeldern finanziert wird.....	155
Abbildung 41: Darstellung der Ergebnisse zu These T5 (Anerkennung) und These T6 (WiKo-Experten). These T5: Die Wissenschaftler halten es für vorteilhaft, externe Wissenschaftskommunikation zu praktizieren, wenn ihre Leistung innerwissenschaftlich anerkannt ist. These T6: Die Wissenschaftler halten es für sinnvoll, dass Wissenschaftskommunikation im Forschungsverbund von jemandem mit Kommunikationsexpertise angeleitet und organisiert wird.	156

Abbildung 42: Darstellung der Ergebnisse zu These T7 (Kurse im Studium) und These T8 (Angebot an Universität). These T7: Die Wissenschaftler hätten sich Kurse zum Oberthema Wissenschaftskommunikation bereits während ihrer frühen akademischen Ausbildung gewünscht. These T8: Die Wissenschaftler wünschen sich Angebote zur Fort- und Weiterbildung im Bereich der Wissenschaftskommunikation, die an der Universität angeboten werden.....	157
Abbildung 43: Darstellung der Ergebnisse zu These T9 (Zeitmangel) und These T10 (Intransparenz). These T9: Die Wissenschaftler würden sich gern vertieft mit Öffentlichkeitsarbeit auseinandersetzen, es bleibt ihnen jedoch nicht ausreichend Zeit während der Promotion. These T10: Die Wissenschaftler wissen nicht, wie an das Thema Wissenschaftskommunikation heranzugehen ist.	157
Abbildung 44: Graphische Darstellung der Entwicklung der Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf den <i>Girls' Day</i> (Doktorand IO).	159
Abbildung 45: Graphische Darstellung der Entwicklung der Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf den <i>Girls' Day</i> (Doktorand SG).	160
Abbildung 46: Graphische Darstellung der Entwicklung der Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf den <i>Girls' Day</i> (Doktorand IA).....	161
Abbildung 47: Graphische Darstellung der Entwicklung der Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf den <i>Girls' Day</i> (Doktorand DM).	162
Abbildung 48: Graphische Darstellung der Entwicklung der Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf den <i>Girls' Day</i> (Doktorand KA).....	163
Abbildung 49: Graphische Darstellung der Entwicklung der Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf den <i>Girls' Day</i> (Doktorand BM).	164
Abbildung 50: Graphische Darstellung der Entwicklung der Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf die <i>Nacht der Wissenschaft</i> (Doktorand IW).	165
Abbildung 51: Graphische Darstellung der Entwicklung der Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf die <i>Nacht der Wissenschaft</i> (Doktorand VL).	166
Abbildung 52: Graphische Darstellung der Entwicklung der Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf die <i>Nacht der Wissenschaft</i> (Doktorand SA).....	167
Abbildung 53: Graphische Darstellung der Entwicklung der Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf die <i>Nacht der Wissenschaft</i> (Doktorand SG).....	168
Abbildung 54: Graphische Darstellung der Entwicklung der Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf die <i>Nacht der Wissenschaft</i> (Doktorand KA).....	169
Abbildung 55: Graphische Darstellung der Entwicklung der Selbstwirksamkeitserwartung in Bezug auf die <i>Nacht der Wissenschaft</i> (Doktorand DM).	170

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zehn Handlungsempfehlungen zur Wissenschaftskommunikation.	11
Tabelle 2: Evaluation der Studierenden-Erprobung.	83
Tabelle 3: Ergebnisse der teilnehmenden Beobachtung der Lehrperson.	85
Tabelle 4: Übersicht der Wissenschaftskommunikationstypen.	111
Tabelle 5: Übersicht der an die Anforderungen zur Messung der Selbstwirksamkeitserwartung während der Wissenschaftskommunikationsmaßnahmen adaptierten Items.	125
Tabelle 6: Charakterisierung der Wissenschaftskommunikationstypen und Zuordnung der Doktoranden.	135
Tabelle 7: Auswertung der Ergebnisse in Bezug auf die Wissenschaftskommunikationsmaßnahme <i>Girls' Day</i>	138
Tabelle 8: Auswertung der Ergebnisse in Bezug auf die Wissenschaftskommunikationsmaßnahme <i>Nacht der Wissenschaft</i>	139
Tabelle 9: Quantitative Ergebnisse der Vorstudie.	174
Tabelle 10: Qualitative Ergebnisse des Post-Fragebogens des <i>Girls' Days</i>	184
Tabelle 11: Qualitative Ergebnisse des Post-Fragebogens der <i>Nacht der Wissenschaft</i>	190
Tabelle 12: Synopse der ersten Unterrichtsstunde.	193
Tabelle 13: Synopse der zweiten Unterrichtsstunde.	193
Tabelle 14: Synopse zur Erprobung im Schülerlabor iLUP an der Universität Potsdam.	194
Tabelle 15: Quantitative Ergebnisse des Schülerlabors iLUP.	197
Tabelle 16: Qualitative Ergebnisse des Schülerlabors iLUP.	198

Selbstständigkeitserklärung

Ich versichere an Eides statt, dass ich die von mir vorgelegte Dissertation selbstständig angefertigt, die benutzten Quellen und Hilfsmittel nach bestem Wissen und Gewissen vollständig angegeben und die Stellen der Arbeit - einschließlich Tabellen, Karten und Abbildungen -, die anderen Werken im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, in jedem Einzelfall als Entlehnung kenntlich gemacht habe. Darüber hinaus versichere ich, dass diese Dissertation noch keiner anderen Universität oder Fakultät zur Prüfung vorgelegt wurde und, dass sie - abgesehen von den unten angegebenen Teilpublikationen - noch nicht veröffentlicht worden ist und ich eine solche Veröffentlichung vor Abschluss des Promotionsverfahrens nicht vornehmen werde. Die Bestimmungen der Promotionsordnung sind mir bekannt. Die von mir vorgelegte Dissertation ist von Prof. Dr. Amitabh Banerji betreut worden.

Lena Halbrügge, Potsdam 2023

Teilpublikationen

[1] Halbrügge, L., Banerji, A., Meerholz, K., Hallo Zukunft! Gedruckte Elektronik als Hands-On-Experiment für die Lehre in den Naturwissenschaften an (Hoch-)Schulen. *CHEMKON*, 2022; 21(S1): 355-361.

[2] Halbrügge, L., Banerji, A., Rösler, S., Hello Future! Printed Electronics as a Hands-On Experiment for Science Teaching. *World Journal of Chemical Education*, 2021; 9(4):104-110.