

Lernlabor zur Photolumineszenz-Spektrometrie didaktisch rekonstruiert

Kai Bliesmer*, Martin Esmann*, Lukas Lackner*, Diyar Sadiq⁺

*Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Carl-von-Ossietzky-Straße 9-11, 26129 Oldenburg

⁺Zakho International Road, Duhok, Kurdistan Region-Iraq
kai.bliesmer@uni-oldenburg.de

Kurzfassung

Im Beitrag wird Entwicklungsforschung für ein Schülerlabor zur Photolumineszenz-Spektrometrie beschrieben. Das Labor wurde in der Zusammenarbeit zwischen der Physikdidaktik Oldenburg sowie der Fachphysik an den Standorten Oldenburg und Zakho (Irak) ausgestaltet. Als Entwicklungsansatz wurde das Modell der Didaktischen Rekonstruktion gewählt. Das Schülerlabor hat eine Doppelfunktion inne: Einerseits sollen Schülerinnen und Schüler auf dem Gebiet der Photolumineszenz-Spektrometrie Kompetenzen in den Bereichen Fachwissen (--> Ziel A: Wissenskommunikation) und Erkenntnisgewinnung (--> Ziel B: Wissenschaftskommunikation) aufbauen. Andererseits sind aber auch die Kolleginnen und Kollegen aus dem Irak selbst eine Zielgruppe des Schülerlabors. Denn diese möchten durch die Zusammenarbeit lernen, wie man im Irak mittels Schülerlaboren Wissenschaftskommunikation betreiben kann. Diesbezüglich dient das Schülerlabor als Blaupause für die irakischen Kolleginnen und Kollegen und als Kontext, um die fachdidaktische Entwicklungsforschung zur Gestaltung von Schülerlaboren zu verdeutlichen (--> Ziel C: fachdidaktische Wissenschaftskommunikation).

1. Ausgangslage

Die Arbeitsgruppe "Quantenmaterialien" an der Universität Oldenburg kooperiert im Bereich der Nano-Optik seit einigen Jahren mit fachwissenschaftlichen Kollegen aus dem Irak. Die Kooperation wird vom DAAD gefördert und dient der Entwicklungszusammenarbeit. Diese Entwicklungszusammenarbeit beschränkt sich seit neustem nicht mehr nur auf fachwissenschaftliche Forschung, sondern erstreckt sich nun auch auf fachdidaktische Inhalte: Die irakischen Kollegen wünschen sich, befähigt zu werden, Wissenschaft adressatengerecht an Schülerinnen und Schüler im Irak kommunizieren zu können; um die Bedeutung von Wissenschaft für die Entwicklung des Landes zu unterstreichen und um wissenschaftlichen Nachwuchs zu generieren. Zur diesbezüglichen Unterstützung ist die AG Physikdidaktik Oldenburg zum Projekt hinzugestoßen. Sie unterstützt die fachwissenschaftlichen Kollegen bei der Wissenschaftskommunikation. Weil von den Projektpartnern berichtet wurde, dass Vermittlungsformate im Irak dominieren, die vornehmlich auf Lehrkräftevorträge und auf das Memorisieren von Fakten setzen, wurde ein Format für die Wissenschaftskommunikation gewählt, das hierzu ein Gegengewicht bildet: Das Schülerlabor. Schülerlabore stehen somit im fachdidaktischen Anteil des Projekts im Fokus.

2. Theoretische Fundierung

Der fachdidaktische Teil des Projekts geht von der Prämisse aus, dass es sich bei Schülerlaboren um mächtige Instrumente der Wissenschaftskommunikation handelt. Denn sofern sie mittels Problemlösesitu-

ationen und entlang von Experimenten Eigenaktivität und Kreativität der Schülerinnen und Schüler anzuregen gedenken, passen sie gut zur Selbstbestimmungstheorie der Motivation (Deci & Ryan, 1993). Wie Sajons (2020) zeigt, sollten Schülerlaborangebote, kontextorientiert, problemorientiert und autonomieorientiert ausgerichtet sein (s. Abb.1), um ihr motivierendes Potenzial bestmöglich entfalten zu können.

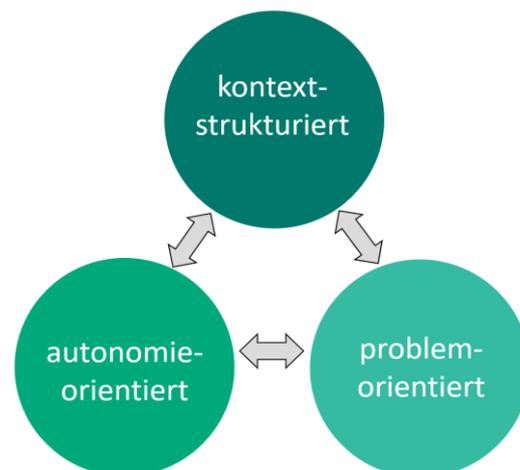


Abb. 1: Angezielte Schülerlabor-Charakteristika

Gegenüber den fachwissenschaftlichen Kollegen gilt zu betonen, dass Lehr-Lern-Situation nicht theorie- los aus dem Bauch heraus gestaltet werden, sondern dass die Fachdidaktik über etablierte, lernpsychologisch fundierte Theorien und Modelle verfügt, auf deren Basis neue Lehr-Lern-Situationen – somit auch Schülerlabore – entwickelt, beforscht und schließlich wei-

terentwickelt werden (Patrick, 2023). Ein geeignetes Modell, das seine Eignung für die fachdidaktische Wissenschaftskommunikation bereits bei der Zusammenarbeit mit Ausstellungsagenturen zur Entwicklung von Science Center-Exponaten unter Beweis gestellt hat (Bliesmer & Komorek, 2023), ist die Didaktische Rekonstruktion (Duit et al., 2012). Denn das Modell spiegelt sehr prägnant die Essenzen fachdidaktischen Arbeitens wider: Fachliche Sicht und Lernendensicht auf zu vermittelnde Inhalte sind gleichermaßen bedeutsam; beide Perspektiven müssen aufeinander bezogen werden, um auf Grundlage ihres Vergleichs eine didaktische Strukturierung zu gestalten, die sowohl der fachlichen Sachstruktur als auch den Lernendenperspektiven Rechnung trägt. Für Klärung in beiderlei Bereichen ist Forschung nötig und auch für die Untersuchung der Lernwirksamkeit entwickelter didaktischer Strukturierungen bedarf es empirischer Forschung. Forschung und Entwicklung sind im Modell der Didaktischen Rekonstruktion also eng miteinander verknüpft.

3. Ziele und Zielgruppen

Das Schülerlabor hat zwei Zielgruppen. Das sind zum einen Schülerinnen und Schüler. Bei ihnen wird zwischen zwei Zielebenen differenziert: Die erste Ebene zielt auf Kompetenzentwicklung im Fachwissen. Sie sollen Wissen hinsichtlich derjenigen physikalischen Grundideen aufbauen, die benötigt werden, um das Konzept der Photolumineszenz-Spektrometrie entschlüsseln zu können (--> Ziel A: Wissenskommunikation). Die zweite Ebene zielt auf Kompetenzentwicklung im Bereich der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung: Die Teilnehmenden am Schülerlabor sollen zusätzlich für naturwissenschaftliche Arbeitsweisen im Feld der Photolumineszenz-Spektrometrie sensibilisiert werden; also erfahren, wie der Arbeitsalltag von Personen aussieht, die auf diesem Gebiet forschen (--> Ziel B: Wissenschaftskommunikation).

Neben Schülerinnen und Schülern sind aber auch die Kollegen aus der Fachwissenschaft eine Zielgruppe des Schülerlabors. Denn die fachdidaktische Beteiligung am Projekt zielt nicht nur darauf, ein Schülerlabor zu entwickeln, sondern den Fachwissenschaftlern auch die fachdidaktischen Entwicklungsschritte zu beschreiben, um sie zu befähigen, in ihrem Heimatland selbst ein Schülerlabor einzurichten. Deshalb muss die fachdidaktische Entwicklungsforschung zur Realisation des Schülerlabors mit ihnen reflektiert werden, damit sie den Sinn und Nutzen der schlussendlich entwickelten didaktischen Strukturierung des Schülerlabors nachvollziehen können. So kann bspw. das Streben nach der Förderung von Eigenaktivität aufseiten der Schülerinnen und Schülern nur nachvollzogen werden, wenn das Lernen konstruktivistisch betrachtet und die Selbstbestimmungstheorie der Motivation angelegt wird. Das Schülerlabor zur Photolumineszenz-Spektrometrie ist mit Blick auf diese Zielgruppe eine Blaupause und ein Anlass über

fachdidaktische Entwicklungsforschung zu sprechen (--> Ziel C: Fachdidaktische Wissenschaftskommunikation). Abb.2 fasst die Ziele und Zielgruppen zusammen.

Zielgruppe: Schüler:innen

- Ziel A: Wissenskommunikation
- Ziel B: Wissenschaftskommunikation

Zielgruppe: Fachwissenschaftler:innen

- Ziel C: Fachdidaktische Wissenschaftskommunikation

Abb. 2: Übersicht über Ziele und Zielgruppen

4. Umsetzung des Projekts

Im Hinblick auf die Zielgruppe der Schülerinnen und Schüler wird für beide Zielebenen je eine separate Didaktische Rekonstruktion (Abb.3) durchgeführt, um entsprechende Lernmaterialien für ein Schülerlabor zu entwickeln.



Abb. 3: Aufgaben in der Didaktischen Rekonstruktion

Zwei Teams mit je vier Lehramtsstudierenden führen die Didaktischen Rekonstruktionen unter enger Betreuung durch Fachwissenschaft und Fachdidaktik durch. Die Aufgabenteilung erfolgt, da die Entwicklung eines Schülerlabors aufwendig ist. Das macht Teamarbeit nötig, damit die Studierenden ihre Arbeitskraft scharf definierten Aufgabenstellungen widmen können und nicht überfordert werden. Beide Didaktische Rekonstruktionen sind mittlerweile abgeschlossen. Lernmaterialien liegen vor. Aktuell arbeitet nun ein drittes Team daran, die entwickelten Lernmaterialien so miteinander zu verbinden, dass ein Schülerlabor mit einem Umfang von 2x90 Minuten resultiert. Dieses dritte Team hat ebenfalls die Aufgabe, das Schülerlabor zu erproben und erste Rückschlüsse auf dessen Lernwirksamkeit zu ziehen.

Im Hinblick auf die Zielgruppe der fachwissenschaftlichen Kollegen finden zusammen mit allen an der Entwicklung beteiligten Studierenden regelmäßige Besprechungen statt, in denen der aktuelle Stand der Schülerlaborentwicklung besprochen und reflektiert

wird. Personen aus der Fachdidaktik berichten über dies auf Konferenzen des Projekts.

Im Folgenden werden zunächst die zentralen Ergebnisse der beiden abgeschlossenen Didaktischen Rekonstruktionen zur Erfüllung von Ziel A und Ziel B präsentiert. Im Anschluss wird mit Blick auf Ziel C von der fachdidaktischen Wissenschaftskommunikation berichtet. Der Artikel schließt mit einem Ausblick auf aktuell anstehende Arbeiten.

5. Didaktische Rekonstruktion I (Ziel A)

Die erste Didaktische Rekonstruktion zielt auf den Bereich der Wissenskommunikation. Es geht darum, Lernmaterialien zu entwickeln, mit deren Hilfe physikalische Grundideen vermittelt werden können, die nötig sind, um das Prinzip der Photolumineszenz-Spektrometrie entschlüsseln zu können. Die Struktur der folgenden Unterkapitel ist durch die Aufgabenfelder der Didaktischen Rekonstruktion vorgegeben (s. Abb.3).

5.1. Fachliche Klärung

Wegen der engen Zusammenarbeit mit den fachwissenschaftlichen Kollegen, die im zu rekonstruierenden Themengebiet forschen, wurden zur fachlichen Klärung primär Experteninterviews (Bogner, Littich & Menz, 2005) durchgeführt. Diese wurden ergänzt durch Dokumentenanalysen von fachwissenschaftlichen Literaturquellen (Demtröder, 2017; 2021; Eichler & Eichler, 2010; Heim, 2002; Hertel & Schulz, 2017; Jüstel & Schwung, 2016), die während der Experteninterviews empfohlen wurden. Die fachliche Klärung wurde entlang des Konzepts der Elementarisierung (Bleichroth, 1991) vorgenommen, das darauf zielt, physikalische Grundideen herauszuarbeiten, die für die Entschlüsselung des Konzepts der Photolumineszenz-Spektrometrie zwingend erforderlich sind. Um die fachliche Klärung zu strukturieren, wurden die Abläufe am Versuchsaufbau zur Photolumineszenz-Spektrometrie chronologisch analysiert: Ausgehend vom eingesetzten Laserlicht und dessen Manipulation, um es auf die Probe zu bringen, über die hierdurch erfolgte Anregung der Probe bis hin zur Analyse des von der Probe ausgesendeten Lichts. Im Folgenden werden die wichtigsten Eckpunkte der Elementarisierung beschrieben.

Für ein Verständnis der Photolumineszenz-Spektrometrie ist es zunächst elementar, die Bedeutung des Einsatzes von Laserlicht nachzuvollziehen. Es wird eingesetzt, weil es über eine spezifische Energie verfügt und somit bei der späteren Analyse nicht mit dem von der Probe ausgesandten Licht konfligiert. Der komplexe Aufbau bei der Photolumineszenz-Spektrometrie wird verständlich, wenn er durch das Ziel begründet wird, Laserlicht exakt auf das Probenmaterial zu applizieren. Dazu müssen Lernende verstehen, dass sich Licht durch Spiegel und Linsen manipulieren lässt. Trifft das Licht die Probe, so ist es elementar, dass ein Stoff in ein höheres Energieniveau angeregt werden kann und es dabei spezifische Anre-

gungsniveaus gibt, die für einen bestimmten Stoff fix sind, also eine Art Fingerabdruck darstellen. Dass der Stoff bei Relaxation in den Grundzustand Licht mit der Energiedifferenz zwischen zwei Niveaus abgibt, ist ebenfalls zentral. Zuletzt ist für eine Entschlüsselung der Photolumineszenz-Spektrometrie relevant, dass nachvollzogen wird, wie die Analyse des von der Probe ausgesandten Lichts mittels Gitterspektrometrie funktioniert. Beispielhaft seien im Folgenden fünf herausgearbeitete Elementaria aufgeführt:

- E1: Für die Photolumineszenz-Spektrometrie ist Laserlicht nötig, denn es ist sortenreines Licht, hat also eine ganz bestimmte Energie.
- E2: Licht wird durch Spiegel umgelenkt sowie durch Linsen geweitet/gebündelt, um die zu untersuchende Probe präzise treffen zu können.
- E3: Laserlicht regt die Probe in verschiedene höhere Energieniveaus an. Diese Niveaus sind quantisiert, d. h. sie sind durch mehrere fest definierte Niveaus spezifisch festgelegt.
- E4: Relaxiert die Probe auf niedrigere Energieniveaus, emittiert sie eine Lichtmischung, die den Energiedifferenzen zwischen den Energieniveaus entspricht und sich analysieren lässt.
- E5: Mittels Gitterspektrometrie wird die emittierte Lichtmischung nach Energien sortiert; hierdurch lässt sich die Probe charakterisieren.

5.2. Erfassung von Lernendenperspektiven

Geleitet durch die Ergebnisse der fachlichen Klärung wurden im nächsten Schritt in der fachdidaktischen Literatur Schülervorstellungen (Wilhelm & Schecker, 2018) recherchiert, die eine Bedeutsamkeit für die Vermittlung der herausgearbeiteten Elementaria erwarten lassen. Im Hinblick auf den Versuchsaufbau zur Photolumineszenz-Spektrometrie, der vornehmlich aus Spiegeln und Linsen besteht, sind Schülervorstellungen von der Reflexion von Licht sowie von der Manipulation von Licht mittels Linsen bedeutsam. Dazu zählt beispielsweise die Vorstellung, dass Licht wie ein Pingpong-Ball an einem Spiegel reflektiert wird (S1) oder auch, dass Licht nur zurückgeworfen wird, wenn der Einfallswinkel 0 beträgt, bei anderen Einfallswinkeln hingegen reflektiert wird (S2) (Hopf & Haagen-Schützenhöfer, 2018). Weiterhin bedeutsam ist, dass die meisten Schülerinnen und Schüler ein Strahlenmodell des Lichts internalisiert haben (S3), sie eher die Lichtquellenstärke für die Reichweite des Lichts verantwortlich machen, ohne Aspekte wie Streuverluste oder die Verteilung des Lichts auf eine größere Fläche zu berücksichtigen (S4) und sie der Meinung sind, dass der Linsendurchmesser die Bildgröße bestimmt (S5) (Hopf & Haagen-Schützenhöfer, 2018). Dies lässt erwarten, dass es Schwierigkeiten geben könnte, den von Spiegeln und Linsen dominierten Versuchsaufbau der Photolumineszenz-Spektrometrie nachzuvollziehen zu können. Da das Gitterspektrometer entscheidend ist, um das von der Probe ausgesendete Licht zu analysieren und es auf den Phänomenen der Beugung und Interferenz

basiert, sind entsprechende Vorstellungen ebenfalls zu berücksichtigen. So äußern die Schülerinnen und Schüler die Vermutung, dass es sich beim Hauptmaximum bei der Beugung am Einzelspalt um eine Abbildung der Lichtquelle handelt (S6). Darüber hinaus sind sie der Meinung, dass – sofern die Breite eines Spalts kleiner ist als die Wellenlänge des einstrahlenden Lichts – keine Beugung auftreten könne, da das Licht nicht durch den Spalt passe (S7) (Hopf & Haagen-Schützenhöfer, 2018).

5.3. Didaktische Strukturierung

In Absprache mit den fachwissenschaftlichen Kollegen wurde beschlossen, ein Exit-Game zu entwickeln, das Schülerinnen und Schülern erlaubt, spielerisch in den Kontext der Photolumineszenz-Spektrometrie einzutauchen und dort Rätsel/Probleme zu lösen.

Für das Exit-Game wurde der folgende Kontext gewählt: Die Teilnehmenden werden während der Experimente von Assistenten des verschwundenen Physikers Prof. Dr. Farid Al-Photolumina betreut, der auf dem Gebiet der Photolumineszenz-Spektroskopie forscht. Sie müssen verschiedene Rätsel lösen, um den verschwundenen Professor wiederzufinden und werden dabei von Hinweisen angeleitet, die der Professor hinterlassen hat. Die Experimente finden im Rahmen eines entwickelten Exit-Games statt, in dem die Schülerinnen und Schüler nach dem Modell des explorativen Lernens (Liebig, 2012), spielerisch-problemorientiert die in der fachlichen Klärung herausgearbeiteten Elementaria erarbeiten. Das Exit-Game besteht aus Experimenten, in die auch Lehrervorträge eingebunden sind, wenn sich bestimmte Inhalte nicht allein experimentell vermitteln lassen. Zu Beginn erhalten die Teilnehmenden eine Schatzkarte.

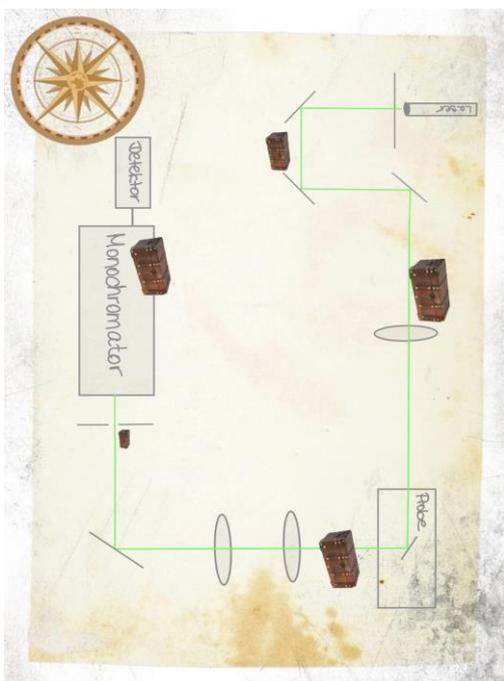


Abb. 4: Schatzkarte als Advance Organizer

Die Karte stellt einen stark vereinfachten Aufbau eines Photolumineszenz-Spektrometers dar und fungiert als Advance Organizer, um zu verhindern, dass die didaktische Strukturierung zu stark zersplittert. Die didaktische Strukturierung des Exit-Games ist zudem stark von den recherchierten Schülervorstellungen beeinflusst worden, die an den Experimentierstationen explizit thematisiert werden. Die Experimentierstationen sind in der Komplexität der physikalischen Prinzipien ansteigend angeordnet. Für alle Stationen wurden jeweils Hilfekarten entwickelt, sodass die Teilnehmenden den Schwierigkeitsgrad der Stationen selbst regulieren können. Überdies sind die Stationen so gestaltet, dass sie bei erfolgreicher Problemlösung einen Code erhalten, der eine Truhe öffnet, die Informationen zur jeweils nächsten Station enthält. Die Stationen werden im Folgenden kurz beispielhaft vorgestellt.

5.3.1. Station 1

Es ist eine selbst gebastelte Kiste gebaut worden, die mit Spiegeln bestückt werden kann und an deren Seiten sowie teilweise in der Mitte Hindernisse eingebaut sind. Ziel ist es, das Licht eines Lasers, der in eine Vorrichtung gesteckt wird, so um Hindernisse zu lenken, dass es auf ein festgelegtes Target trifft.



Abb. 5: Experimentierbox mit verstellbaren Spiegeln

5.3.2. Station 2

Hier erhalten die Schüler unscharfe Skizzen des Professors, die es scharf zu stellen gilt. Mithilfe von Spiegeln muss Licht hierzu umgelenkt und mit Linsen manipuliert werden. Dabei sind viele verschiedene Positionen der Spiegel und Linsen möglich, was eine gewisse Offenheit für die Schüler ermöglicht, die zur Exploration anregt.

5.3.3. Station 3

In Anlehnung an die vorige Station haben die Schüler nun die Aufgabe, die scharf gestellte Skizze zu vergrößern. Hierfür benötigen sie im Gegensatz zum vorigen Rätsel zwei Linsen. Sie sollen ihre Erkenntnisse über die Brennweite einer Linse anwenden, um die Schirmposition für eine Vergrößerung zu bestimmen.

5.3.4. Station 4

Im Kontext erteilt der Professor in einer Nachricht den Auftrag, die Zusammensetzung von Licht unter die Lupe zu nehmen. Mithilfe eines Gitters sollen die Schüler einen Versuchsaufbau realisieren, der das Licht einer Optikleuchte so beugt, dass unterschiedliche Lichtfarben auf dem Schirm zu beobachten sind.



Abb. 6: Beugung von Licht an einem Gitter

5.3.5. Station 5

In der letzten Experimentierstation des Exit-Games geht es um die Wellenlängenbestimmung des vorab gebeugten Lichts. Hierbei wird mittels Rotfilters nur eine bestimmte Wellenlänge ausgewählt, damit die Schüler einen klaren Auswertefokus erhalten.

5.3.6. Ergänzendes

Zwischen den Experimentierstationen 3 und 4 erhalten die Schüler Informationen zur Anregung von Proben durch Laserlicht, da dies, in Ergänzung zu den an den Experimentierstationen vermittelten Grundideen, für die Entschlüsselung der Photolumineszenz-Spektrometrie unabdingbar ist. Als Finale des Exit-Games haben die Schülerinnen und Schüler die Aufgabe, den Aufbau eines Photolumineszenz-Spektrometers zu erklären, indem sie die an den Experimentierstationen erarbeiteten Elementaria auf den realen Versuchsaufbau anwenden.

6. Didaktische Rekonstruktion II (Ziel B)

Aus dieser Didaktischen Rekonstruktion sollen Lernmaterialien resultieren, die auf Kompetenzen im Bereich der Erkenntnisgewinnung abzielen; es geht also um Wissenschaftskommunikation: Lernende erfahren im Kontext der Photolumineszenz-Spektrometrie

mehr über die alltäglichen Aufgaben der Personen, die in diesem Bereich forschen.

6.1. Fachliche Klärung

Auch hier erfolgte die fachliche Klärung in enger Zusammenarbeit mit den am Projekt beteiligten fachwissenschaftlichen Kollegen. Hierzu wurden Experteninterviews (Bogner, Littich & Menz, 2005) durchgeführt. Es war den Kollegen besonders wichtig, neben dem Zyklus des naturwissenschaftlichen Arbeitens (McComas, 2020), Tätigkeiten im Detail zu benennen, die Laien üblicherweise nicht bekannt sind: Hierzu zählt ständige Weiterbildung und Recherche. Auch sei zu betonen, dass es sich bei Forschungsgeldern meist um Drittmittel handelt, die mittels Anträge kompetitiv eingeworben werden müssen, was bedeutende Anteile der alltäglichen Arbeitszeit umfasst. Selbst wenn die Gelder letztlich eingeworben werden konnten, bedarf es Zeit, sie zu verausgaben, da die zu beschaffenden Geräte oftmals so komplex sind, dass es nur wenige Firmen weltweit gibt, die in der Lage sind, sie zu fertigen und die Lieferzeiten daher viele Monate betragen. Für die Interviewten ist zudem bedeutsam, dass Messungen viele Male durchgeführt werden müssen, um in den Daten Muster erkennen zu können, hierfür ist neben der Laborarbeit auch viel Arbeitszeit im Büro vonnöten. Im Hinblick auf die soziale Eingebundenheit betonen sie, dass es sowohl Phasen der Team- als auch der Einzelarbeit gibt. Teamarbeit findet im Vorfeld der Forschung statt, wenn gemeinsam in der AG die Forschungsfragen formuliert und die zu deren Beantwortung nötigen Forschungsaufgaben delegiert werden. Es folgt im Labor tendenziell eine Zeit der Einzelarbeit, bis zu dem Zeitpunkt, an dem die erhobenen Daten im Team interpretiert werden. Im Anschluss werden die Erkenntnisse nach außen kommuniziert, wo sie im Peer-Review-Verfahren überprüft und schlussendlich auf Konferenzen vorgestellt werden. Zusammenfassend wurden folgende Elementaria formuliert:

- E1: Forschung im Bereich der Photolumineszenz-Spektrometrie folgt einem Zyklus aus der Formulierung von Hypothesen/Forschungsfragen sowie deren experimenteller Überprüfung.
- E2: Um Hypothesen/Forschungsfragen formulieren zu können, bedarf es ständiger Weiterbildung und Recherche.
- E3: Zur Finanzierung der Forschung müssen mittels Forschungsanträge Gelder bei Drittmittelgebern eingeworben werden.
- E4: Für die Forschung müssen bei Spezialfirmen komplexe Gerätschaften gekauft werden, auf die teils monatelang gewartet werden muss.
- E5: Um Muster in den Daten erkennen zu können, müssen Experimente häufig durchgeführt werden.
- E6: Formulierung von Hypothesen/Forschungsfragen sowie Dateninterpretation sind Teamleistungen, Laborarbeit erfolgt auch einzeln.

- E7: Forschungsergebnisse werden in der Community kritisch überprüft (Peer-Review), Paper veröffentlicht und auf Konferenzen vorgestellt.

6.2. Erfassung von Lernendenperspektiven

Lernendenperspektiven, die für die herausgearbeiteten Elementaria eine Relevanz erwarten lassen, finden sich in Form von Schülervorstellungen zum Bereich der Natur der Naturwissenschaften in der fachdidaktischen Literatur. Für die Didaktische Rekonstruktion wurden ausgewählte Schülervorstellungen recherchiert, die von Schecker, Wilhelm, Hopf und Duit (2018) dokumentiert wurden. Im Kapitel von Höttecke und Hopf (2018) wird von folgenden Vorstellungen berichtet: Schülerinnen und Schüler setzen Experimenten mit Ausprobieren gleich und sind nicht in der Lage, Beziehungen zwischen Hypothese bzw. Forschungsfrage, Experiment, Forschungsdaten und Interpretation herzustellen (S1). Auch assoziieren sie mit Naturwissenschaftlern Einzelgänger, die ihrer Forschungsarbeit allein nachgehen (S2) und dabei mit sehr komplexen und gefährlichen Gerätschaften arbeiten (S3). Stark von der Forschungsrealität weicht die Vorstellung ab, dass in Experimenten bereits einzelne Messungen wahre Werte ergeben; hier wird die statistische Natur von Messwerten verkannt; zudem werden Messfehler nicht mit Ungenauigkeiten, sondern mit fehlerhaften Messungen assoziiert (S4). Die Vorstellung, dass die Naturwissenschaften unfehlbar seien, kann eine Sekundärvorstellung nach sich ziehen, gemäß derer es bei naturwissenschaftlicher Arbeit keiner Konsensbildung bedarf, da Forschung nur klare Fakten produziert, die für sich selbst sprechen und eindeutig sind (S5). Letzteres muss insbesondere berücksichtigt werden, wenn Laien das teaminterne Ringen um die Interpretation von Daten und das Konzept des Peer-Review-Verfahrens verdeutlicht wird.

6.3. Didaktische Strukturierung

Um Schülerinnen und Schülern naturwissenschaftliche Arbeitsweisen im Kontext der Photolumineszenz-Spektrometrie zu verdeutlichen, ist eine Führung durch das Labor mit direktem Kontakt zu den Wissenschaftlern allein nicht ausreichend. Denn eine solche Führung kann die in der fachlichen Klärung herausgearbeiteten Elementaria, nicht angemessen abbilden. Daher wurde beschlossen, Video-Vignetten (Rutsch, Seidenfuß, Vogel, Dörfler & Rehm, 2017; Benz, 2020) zu entwickeln. Hierbei handelt es sich um Filmszenen, die alltägliche Aufgaben der Wissenschaftler zeigen, die im Bereich der Photolumineszenz-Spektrometrie forschen. Gemeinsam mit der Medienabteilung der Universität Oldenburg und den am Projekt beteiligten Fachwissenschaftlern wurde ein Skript für die anzufertigen Filmszenen entwickelt. Als Inspiration für die Ausgestaltung der Szenen fungierten die im vorigen Kapitel recherchierten Schülervorstellungen, sodass diese durch die Filmszenen zum Thema gemacht werden können. Bezugspunkt des Films ist der Doktorand Lukas Lackner. Das Filmteam begleitet ihn und sein Team bei alltäglichen

Aufgaben, die von einer Off-Stimme erklärt werden. In den zentralen Szenen des Films geht es um:

- Den typischen Zyklus beim naturwissenschaftlichen Arbeiten, basierend auf hypothesengeleiteter Experimentieren.
- Die Bedeutung von Recherchen und eigenverantwortlicher Weiterbildung, um im Forschungsgebiet ständig up to date zu bleiben.
- Die Notwendigkeit, Forschungsanträge zu schreiben, um so Drittmittel für die Finanzierung der Forschung akquirieren zu können.
- Die Einzigartigkeit und Komplexität der zur Forschung nötigen Gerätschaften, aus denen lange Lieferzeiten resultieren.
- Die statistische Natur der Messwertaufnahme, die erfordert, Experimente viele Male durchzuführen, um Muster in den Daten erkennen zu können.
- Das Wechselspiel aus Team- und Einzelarbeit in den verschiedenen Phasen des Forschungszyklus.
- Das Ziel, die Ergebnisse auf Konferenzen zu präsentieren und in einem Paper zu veröffentlichen, die im Peer-Review Verfahren geprüft werden.

Unter dem folgenden Link können die zu einer Datei zusammengefassten Szenen eingesehen werden. Für das Schülerlabor ist zu beachten, dass dort die Szenen einzeln und nicht am Stück gezeigt werden:

<https://cloudstorage.elearning.uni-oldenburg.de/s/DBXGQxLFYkHbZxt>

7. Fachdid. Wissenschaftskommunikation (Ziel C)

Wie eingangs beschrieben, sind auch die fachwissenschaftlichen Kollegen Zielgruppe im Projekt, da bei ihnen fachdidaktisches Lernen angeregt werden soll. Diese fachdidaktische Wissenschaftskommunikation wurde und wird realisiert, indem auf den projektinternen Konferenzen (Summerschools & Winterschools) auch alle fachdidaktischen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten vorgestellt werden. Hier wurde im ersten Schritt die konstruktivistische Sichtweise auf das Lernen (Reich, 2010), die Selbstbestimmungstheorie der Motivation (Deci & Ryan, 1993) sowie das Modell der Didaktischen Rekonstruktion (Duit et al., 2012) vorgestellt. Es wurde erklärt, worum es sich bei Schülerlaboren handelt und weshalb sie als mächtige Instrumente der Wissenschaftskommunikation aufzufassen sind. Im weiteren Verlauf der Konferenzen wurde stets der Fortschritt vorgestellt, wie im Aufgabengeflecht im Modell der Didaktischen Rekonstruktion schrittweise vorangeschritten wurde, um ein Schülerlabor zur Photolumineszenz-Spektrometrie zu entwickeln. Ergänzt wurde die Teilnahme an den Konferenzen durch direkte Konsultationen mit den Fachwissenschaftlern. Diese haben stets an der fachlichen Klärung mitgewirkt, waren also auch direkt an der Didaktischen Rekonstruktion beteiligt. Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion hat sich als sehr gut kommunizierbarer Advance Organizer für die fachdidaktische Entwicklungsforschung erwiesen, da

es Essenzen fachdidaktischen Arbeitens ausdrückt: Das Ringen um eine fachlich angemessene Elementarisierung, das Bemühen um die Perspektive der Lernenden sowie eine didaktische Strukturierung des Lehr-Lern-Angebots, die danach strebt, sowohl der fachlichen Sicht als auch der Sichtweise der Lernenden gerecht werden und die es überdies empirisch zu untersuchen und iterativ weiterzuentwickeln gilt.

8. Zwischenfazit und Ausblick

Die zur Erreichung der Ziele A und B nötigen Didaktischen Rekonstruktionen sind abgeschlossen. Lernmaterialien in Form eines Exit-Games und Video-Vignetten liegen vor. Zurzeit wird unter Beteiligung von Lehramtsstudierenden daran gearbeitet, das Exit-Game mit den zur Verfügung stehenden Filmszenen zu einem Schülerlaborangebot zu verbinden; es gilt somit: Schülerlabor = Exit-Game + Video-Vignetten. Zusammenfassend werden die teilnehmenden Schülerinnen und Schüler also an den Experimentierstationen arbeiten und kleinere Vorträge hören, um sich Kompetenzen zu erarbeiten, mit dem sie das Exit-Game bewältigen können. Flankiert wird dies durch Vignetten davon, wie reale Personen der Fachwissenschaft im Bereich der Photolumineszenz-Spektrometrie forschen, was am Schluss des Schülerlabors in einer Führung durch das Forschungslabor kulminiert.

Die Ausgestaltung des Schülerlaborangebots wird im Juni 2024 abgeschlossen. Sodann wird das Angebot erprobt und empirisch untersucht. Ziel der Erprobung wird es sein, die Kompetenzentwicklung der Lernenden sowohl im Hinblick auf den Bereich des Fachwissens als auch im Hinblick auf den Bereich der Erkenntnisgewinnung zu untersuchen. Die Erkenntnisse werden eingesetzt, um das Angebot zu verbessern, also stetig an die Bedarfe der Lernenden anzupassen. Die Untersuchungen erfolgen ebenfalls im Modell der Didaktischen Rekonstruktion. Denn die Didaktische Rekonstruktion endet nicht mit der erstmaligen Entwicklung von Lehr-Lern-Situationen, sondern ist iterativ angelegt: Empirische Erkenntnisse über die Wirksamkeit einer didaktischen Strukturierung fließen ggf. in eine Neuauswahl der Elementaria ein oder können neue Schülervorstellungen zu Tage bringen, sodass die didaktische Strukturierung des Schülerlaborangebots anzupassen ist.

Die Zusammenarbeit zwischen Fach- und Fachdidaktik konnte Synergien freisetzen: Die Personen aus der Fachwissenschaft erhalten eine Unterstützung bei der Wissenschaftskommunikation und lernen fachdidaktische Theorien und Modelle kennen. Umgekehrt resultieren für die Fachdidaktik spannende Forschungsfelder, in die sich überdies Lehramtsstudierende im Rahmen von Abschlussarbeiten einbinden lassen. Die Zusammenarbeit mit der Fachwissenschaft ist auch insofern sinnstiftend, als diese im Hinblick auf die zu entwickelnden Lehr-Lern-Situationen eine starke Authentizität herstellen und als Wächter der fachlichen Angemessenheit fungieren, was eine gewisse Entlastung darstellt. So wird aus dem Zusammenspiel mit

der Fachdidaktik, welche die Adressatengerechtigkeit empirisch im Blick behält, die Kernidee der Didaktischen Rekonstruktion gut realisiert: Die Herstellung einer Balance zwischen fachlicher Angemessenheit und Adressatengerechtigkeit bei der Entwicklung von neuen Lehr-Lern-Situationen.

9. Literatur

- Benz, J. (2020). Lehren und Lernen mit Vignetten in allen Phasen der Lehrerbildung—eine Einführung. In M. E. Friesen et al. (Hrsg.), *Vignettenbasiertes Lernen in der Lehrerbildung. Fachdidaktische und pädagogische Perspektiven* (S.12-27). Beltz Juventa.
- Bleichroth, W. (1991). Elementarisierung, das Kernstück der Unterrichtsvorbereitung. *Naturwissenschaft im Unterricht. Physik*, 2(6), 4-11.
- Bliesmer, K. & Komorek, M. (2023). Mit dem Modell der Didaktischen Rekonstruktion fachdidaktische Denkweisen, Arbeitsweisen und Haltung kommunizieren. In K. Bliesmer & M. Komorek (Hrsg.), *Didaktische Rekonstruktion – fachdidaktischer Ansatz für aktuelle Bildungsaufgaben* (S. 25-42). BIS-Verlag.
- Bogner, A., Littich, B. & Menz, W. (2005). Das Experteninterview. *Theorie, Methode, Anwendung*. VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik* 39(2), 223-238.
- Demtröder, W. (2017). *Experimentalphysik 2: Elektrizität und Optik*. Springer.
- Demtröder, W. (2021). *Experimentalphysik 1: Mechanik und Wärme*. Springer.
- Duit, R., Gropengießer H., Kattmann U., Komorek, M. & Parchmann, I. (2012). The Model of Educational Reconstruction – a Framework for improving Teaching and Learning Science. In: D. Jorde & J. Dillon (Hrsg.), *Science Education Research and Practice in Europe. Retrospective and Prospective* (S. 13-37). Sense Publishers.
- Eichler, J. & Eichler, H.-J. (2010). *Laser – Bauformen, Strahlführung, Anwendungen*. Springer Spektrum.
- Haagen-Schützenhöfer, C. & Hopf, M. (2018). Schülervorstellungen zur geometrischen Optik. In H. Schecker, M. Wilhelm, M. Hopf & R. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis* (S. 89-114). Springer.
- Heim, I. (2002): *Darstellung und Charakterisierung von Cadmiumsulfid-Aluminiumoxid-Nanokompositen* (Dissertation). Universität Duisburg-Essen.
- Hertel, I. V. & Schulz, C.-P. (2017). *Atome, Moleküle und optische Physik 1 – Atome und Grundlagen ihrer Spektroskopie*. Springer.

- Höttecke, D. & Hopf, M. (2018). Schülervorstellungen zu Nature of Science. In H. Schecker, M. Wilhelm, M. Hopf & R. Duit (Hrsg.), Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis (S. 271-287). Springer.
- Jüstel, T. & Schwung, S. (2016): Leuchtstoffe, Lichtquellen, Laser, Lumineszenz. Springer.
- Liebig, S. (2012). Entdeckendes Lernen – wieder entdeckt? In M. Bönsch & A. Kaiser (Hrsg.), Basiswissen Pädagogik. Unterrichtskonzepte und -techniken: Entdeckendes, forschendes, genetisches Lernen (S. 4-16). Hohengehren.
- McComas, W. F. (2020). Nature of Science in Science Instruction. Rationales and Strategies. Springer.
- Patrick, P. (2023) (Hrsg.). How People Learn in Informal Science Environments. Springer.
- Reich, K. (2010). Systemisch-konstruktivistische Pädagogik. Einführung in die Grundlagen einer interaktionistisch-konstruktivistischen Pädagogik. Beltz.
- Rutsch, J. Seidenfuß, M. Vogel, M. Dörfler, T. & Rehm, M.: Fachdidaktische Unterrichtsvignetten in Forschung und Lehre: Überblick über Forschungsarbeiten und Einsatzmöglichkeiten. Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung, 35(3), 487-505.
- Sajons, C.-M. (2020). Kognitive und motivationale Dynamik in Schülerlaboren. Kontextualisierung, Problemorientierung und Autonomieunterstützung der didaktischen Struktur analysieren und weiterentwickeln. Logos.
- Schecker, H. Wilhelm, M., Hopf, M. & Duit, R. (2018) (Hrsg.). Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis. Springer.
- Wilhelm, T. & Schecker, H. (2018). Strategien für den Umgang mit Schülervorstellungen. In H. Schecker, M. Wilhelm, M. Hopf & R. Duit (Hrsg.), Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis (S. 39- 62). Springer.

Danksagung

Viele Menschen haben an der Entwicklung des Schülerlabors mitgewirkt und ihre Kreativität einfließen lassen. Ich danke der AG Quantenmaterialien an der Universität Oldenburg für die Kontaktaufnahme und auch den Projektpartnern der Universität Zakho. Namentlich hervorheben möchte ich alle mitwirkenden Lehramtsstudierenden: Nina Behrmann, Sebastian Stahnke, Jan-Christoph Metz, Daniel Krein, Lars Schmidt, Tobias Ellerbrock, Matteo Grimm, Jann Rada sowie Rieka Hausmann und Lucas Hofer. Vielen Dank für eure (fortlaufende) engagierte Mitwirkung!