

1 Einleitung

Experimentieren ist eine der fundamentalen Arbeitsweisen der Physik und ein zentrales Mittel der physikalischen Erkenntnisgewinnung. Der Einsatz von Experimenten ist daher integraler Bestandteil des Physikunterrichts und erfüllt innerhalb des Unterrichts viele unterschiedliche und notwendige Funktionen (Girwicz, 2020). Eine dieser Funktionen ist der Aufbau physikalischer Vorstellungen. Dazu eignen sich u.a. Demonstrationsexperimente, bei denen die Schülerinnen und Schüler die für den Unterrichtsfortgang relevanten Beobachtungen machen sollen. Bisher gibt es keine empirischen Hinweise dazu, mit welchem Lehransatz man angehenden Physiklehrkräften vermitteln kann, bei der Moderation eines Demonstrationsexperiments diese Beobachtung durch die Schülerinnen und Schüler zu initiieren.

Um in ihrem späteren beruflichen Leben erfolgreich zu sein, müssen angehende Physiklehrkräfte die Fähigkeit haben, Demonstrationsexperimente lernzielorientiert zu präsentieren. Sie sollten daher schon in der ersten Phase ihrer Ausbildung ein fundiertes Wissen über die im Physikunterricht üblichen Demonstrationsexperimente aufbauen (Kultusministerkonferenz, 2024) und praxisnahe Erfahrungen im professionellen Präsentieren von Demonstrationsexperimenten erwerben, um gut für die Aufgaben der Schulpraxis gerüstet zu sein. Viele Elemente professionellen Präsentierens von Demonstrationsexperimenten werden traditionell in den universitären Curricula gelehrt, wie viele Gespräche mit verschiedenen Fachkollegen anderer Hochschulen belegen. Traditionell liegt dabei der Fokus aber hauptsächlich auf inhaltlichen Kompetenzen (Aufbau, allg. Durchführung oder Lehrplanbezug), die sprachliche Begleitung oder die aufmerksamkeitslenkende Struktur der Präsentation werden meist nicht explizit unterrichtet. Wichtiges Lernziel der Ausbildung sollte auch sein, den angehenden Physiklehrkräften zu vermitteln, wie sie beim Demonstrieren von Experimenten Schülerinnen und Schüler aktivieren und aktiv am Lernprozess teilhaben lassen können.

Um dieses Ausbildungsziel zu erreichen, wurde am Lehrstuhl für Didaktik der Physik das Konzept der „stummen Videos“ entwickelt. Das Konzept ist Teil des von der länderübergreifenden *Qualitätsoffensive Lehrerbildung* geförderten Projekts „*Lehramtsspezifische Ergänzungen und Berufsfeldbezüge für die Grundvorlesungen*“ am

Lehrstuhl für Didaktik der Physik der Ludwig-Maximilians-Universität München. Ziel des Teilprojekts war es, Studierende zu unterstützen, die Relevanz von Inhalten der Fach-vorlesungen zur Experimentalphysik (Grundvorlesungen) für die Schulpraxis zu erkennen. Zum anderen sollte die Ausbildung angehender Physiklehrkräfte bzgl. des Einsatzes von physikalischen Demonstrationsexperimenten praxisnäher gestaltet werden.

Angehende Physiklehrkräfte lernen mit Hilfe sog. „stummer Videos“, d.h. kurzer, unvertonter Videos von physikalischen Standardexperimenten, möglichst viele grundlegende Versuche der Schulphysik kennen und bauen damit unter anderem ihre sprachlichen Kompetenzen, Demonstrationsexperimente aufmerksamkeitslenkend zu präsentieren, aus:

- Den Studierenden stehen als „stumme Videos“ etwa 250 unterschiedliche Experimente aus den Bereichen Mechanik, Elektrizitätslehre und Magnetismus, Optik, Wärmelehre und Atomphysik online zur Verfügung (Schweinberger, 2023).
- Durch die Bereitstellung einer umfangreichen Web-Plattform erhalten die Studierenden ausführliche Dokumentationen dieser schulischen Standardexperimente. Kern jeder Einzelseite der Plattform ist jeweils ein „stummes Video“ als *best practice example*, wobei die einzelnen Versuchsaufbauten nach aufmerksamkeitslenkenden Prinzipien gestaltet sind. Zudem werden u.a. wichtige Hinweise für die Durchführung und praktische als auch didaktische Hinweise für die Umsetzung im Unterricht bereitgestellt.

(https://www.didaktik.physik.uni-muenchen.de/lehrerbildung/lehrerbildung_lmu/video/index.html)

- Beim Üben mit „stummen Videos“ lernen die angehenden Physiklehrkräfte, wie ein aufmerksamkeitslenkender Aufbau von Demonstrationsexperimenten gestaltet werden kann.
- Durch die Videopräsentation der Experimente in Echtzeit erlernen die Studierenden die Sequenzierung der Durchführung in einzelne Teilschritte und sehen Handlungsabläufe des Demonstrationsexperiments so, wie sie im Unterricht üblicherweise umgesetzt werden.

- Die angehenden Physiklehrkräfte können niederschwellig ohne Ablenkung durch die eigentliche Vorführung des Versuchs die aufmerksamkeitslenkende Moderation von Demonstrationsexperimenten gezielt, d.h. kriteriengeleitet, einüben.

Das Konzept der „stummen Videos“ besteht also zum einen aus einer umfangreichen und dokumentierten Sammlung von Standardexperimenten, die angehenden Physiklehrkräften eine Anleitung bietet, Demonstrationsexperimente aufmerksamkeitslenkend zu gestalten bzw. aufzubauen. Andererseits ermöglicht das Konzept den Studierenden eine innovative und praxisnahe Gelegenheit, die für ihr unterrichtliches Wirken notwendigen Kompetenzen zu erwerben. Insbesondere können sie die aufmerksamkeitslenkende Moderation von Demonstrationsexperimenten niederschwellig üben, überall, ungestört und zu jeder Zeit, ohne andere Einflüsse wie die Bedienung des Versuchs oder die Klassensituation berücksichtigen zu müssen.

Das Üben mit „stummen Videos“ muss in den Aufbau und Inhalt der zugehörigen Experimentalseminare an der Hochschule eingebunden werden. Die Seminare setzen dabei in hohem Maße auf die Eigenaktivität der Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer und verwenden individuelles und kriterienbasiertes Feedback, das hier mehrere Dimensionen umfasst: Die Wiederholungsmöglichkeit der Vertonungen ermöglicht Feedback in Form von Eigenkontrolle, die Besprechung im Seminar anhand vorgegebener Kriterien generiert Feedback auf der breiten Basis der Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer und die Möglichkeiten des Eyetracking-Feedbacks zeigen den Studierenden unmittelbar die Wirkung der verschiedenen Maßnahmen auf Schülerinnen und Schüler.

Werden die Ausbildungsziele bzgl. der aufmerksamkeitslenkenden Moderation von Demonstrationsexperimenten durch das Konzept der „stummen Videos“ erreicht und welche Rolle spielt dabei das begleitende Eyetracking-Feedback?

Die Ausbildungsziele gelten mit diesem Konzept als erreicht, wenn durch Aufmerksamkeitslenkung die Wahrscheinlichkeit, dass Schülerinnen und Schüler während des Experiments auf die relevanten Stellen im Versuchsaufbau schauen, erhöht wird. Damit soll durch die verbale Begleitung die Referenzsicherheit der Schülerin-

nen und Schüler verbessert werden, d.h. die Moderation leitet die Lernenden unmissverständlich an, die gewünschten Beobachtungen zu machen und dabei Kausalzusammenhänge des Experiments zu erkennen.

Im Rahmen dieser Arbeit wird unter vereinfachten Bedingungen die verbale Begleitung eines Demonstrationsexperiments durch angehende Physiklehrkräfte unter Einbindung von Feedback betrachtet. Dabei wird untersucht, inwieweit das Üben der Moderation „stummer Videos“ die Kompetenz der Studierenden einen Versuch aufmerksamkeitslenkend zu begleiten, steigert. Insbesondere wird auf die Wirkung zusätzlichen Eyetracking-Feedbacks eingegangen.

Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass die Aufmerksamkeit von Schülerinnen und Schüler durch verbale Mittel effektiv gelenkt werden kann. Sie beschreibt einfache geeignete Maßnahmen zur Lenkung der Aufmerksamkeit von Lernenden (semantisch, syntaktisch und sequenziell), die man mit Hilfe von „stummen Videos“ einüben kann. Ausgewählte und vorgegebene Kriterien regen an, Einzelaspekte bzw. Maßnahmen einer aufmerksamkeitslenkenden Moderation gezielt zu trainieren, wobei der Lernerfolg durch verschiedene Formen von Feedback rückgemeldet wird. Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer sollen zudem durch die Arbeit mit „stummen Videos“ ein Bewusstsein für verschiedene verbale Mittel entwickeln und die Wirkung ihrer eigenen Moderation erfassen. Die Rückmeldung über die eigene Wirksamkeit wird durch eine neue, innovative Anwendung von Eyetracking als Feedbackmethode erreicht.

Dazu werden die Veränderungen hinsichtlich der Kompetenzen der Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer, den Aufbau und die Durchführung eines Demonstrationsexperiments aufmerksamkeitslenkend zu moderieren, erfasst. Zum Nachweis der Lenkungswirkung der erarbeiteten Mittel und Maßnahmen werden die Eyetracking-Daten von Schülerinnen und Schülern untersucht und ausgewertet. Ebenso werden Daten zur Selbsteinschätzung der angehenden Physiklehrkräfte bzgl. ihrer Fähigkeiten, Demonstrationsexperimente zu moderieren, erhoben.

Die Analyse der verschiedenen Teiluntersuchungen zeigt, dass sich durch das Üben mit dem Konzept der „stummen Videos“ die Struktur der Präsentationen von De-

monstrationsexperimenten wesentlich verändert. Die Folge dieser Veränderung ist eine klare Steigerung der Lenkungswirkung der Moderationen.

In Kapitel 2 wird der theoretische Hintergrund der aufmerksamkeitslenkenden Moderation beschrieben, woraus Empfehlungen für die Moderation von Demonstrationsexperimenten abgeleitet werden. In Kapitel 3 finden sich die Leitfragen der Untersuchung und die sich daraus ergebenden Hypothesen. Kapitel 4 beschreibt das Konzept der „stummen Videos“ und die durchgeführten Untersuchungen. Anschließend werden in Kapitel 5 die Ergebnisse präsentiert und in Kapitel 6 diskutiert und schließlich zusammengefasst.

Kapitel 2: Theorie

2 Theorie

Im folgenden Kapitel werden die der Arbeit zugrundeliegenden theoretischen Grundlagen dargestellt. Dazu werden zuerst die Prinzipien des Experimentierens im Physikunterricht beschrieben (Abschnitt 2.1). Anschließend wird auf die für den Physikunterricht relevanten Aspekte der Sprache bzw. des Sprachlernens eingegangen (Abschnitt 2.2). Der folgende Teilabschnitt stellt die Grundlagen der Wahrnehmung durch die menschlichen Sinne, insbesondere visuelle und die auditive Wahrnehmung dar (Abschnitt 2.3). Danach wird die Wahrnehmung um den Begriff der (selektiven) Aufmerksamkeit bzw. Aufmerksamkeitssteuerung erweitert (Abschnitt 2.4). Der vorletzte Abschnitt konzentriert sich auf das Prinzip des Feedbacks (Abschnitt 2.5). Danach werden im letzten Teil Methoden des Eyetracking, die als Feedbackmethode eingesetzt wurden, erläutert (Abschnitt 2.6).

2.1 Experimente im Physikunterricht

Das Konzept der „stummen Videos“ soll angehende Physiklehrkräfte befähigen, Demonstrationsexperimenten aufmerksamkeitslenkend zu moderieren. Um Demonstrationsexperimente sinnvoll begleiten zu können, muss klar sein, wie Demonstrationsexperimente in den Unterricht implementiert werden und was eine grundlegende Ablaufstruktur einer Experimentalpräsentation beinhalten kann bzw. soll. Ausgehend von grundsätzlichen Überlegungen zu Experimenten im Physikunterricht wird im folgenden Absatz der Stellenwert des Experimentierens und dessen Umsetzung im Unterricht betrachtet (Abschnitt 2.1.1). Anschließend werden Experimente anhand des Einsatzes in verschiedenen Phasen des Unterrichts klassifiziert (Abschnitt 2.1.2) und deren verschiedenen Funktionen im Unterricht dargestellt (Abschnitt 2.1.3). Besonderes Gewicht wird auf die Durchführung von Experimenten und den damit verbundenen und geforderten Kompetenzerwartungen gelegt, wobei pädagogische, psychologische und didaktische Empfehlungen zur Durchführung von Experimenten gegeben werden (Abschnitt 2.1.4). Insbesondere stehen die mit dem experimentellen Arbeiten verbundenen Kompetenzerwartungen im Vordergrund (Abschnitt 2.1.5). Zuletzt folgt die Beschreibung der Feinstruktur der Präsentation eines Experiments (Abschnitt 2.1.6).

Auf die immer wieder auftauchende Diskussion, ob Lehrer- bzw. Schülerversuche, deren Ausgang ja bekannt sind, Experimente im eigentlichen Sinn sind, soll hier nicht eingegangen werden (näheres siehe: Höttecke & Rieß, 2015). Im Folgenden werden deshalb die Begriffe „*Experiment*“ und „*Versuch*“ gleichwertig benutzt.

2.1.1 Grundlagen des Einsatzes von Experimenten im Physikunterricht

Experimente (bzw. Versuche) sind in der Physik ein wesentliches Werkzeug zur Erkenntnisgewinnung. Theorien und daraus resultierende Hypothesen müssen an der Realität des Experiments beweisen. Bei physikalischen Experimenten werden unter kontrollierbaren Bedingungen unabhängige Variablen systematisch verändert und die Folgen auf die abhängigen Variablen beobachtet (Schecker & Höttecke, 2021). Die Naturwissenschaftsdidaktik versteht experimentelle Kompetenz als Wissen und Fähigkeit „...durch gezielte handelnde Auseinandersetzung mit der Natur Daten zu gewinnen, diese vor dem Hintergrund von Modellen und Theorien zu interpretieren und dadurch Wissen und Erkenntnisse über die Natur abzuleiten“ (Gut-Glanzmann & Mayer, 2018, S.122).

Experimentieren ist eine der fundamentalen physikalischen Arbeitsweisen, so dass der Einsatz von Experimenten auch notwendiger Bestandteil des Physikunterrichts sein muss (Vlachos et. al, 2024), denn „...der Physikunterricht fördert das Verständnis für charakteristische Denk- und Arbeitsweisen der Naturwissenschaft Physik“ (ISB-Fachprofil, 2023). Anhand von Experimenten lernen Schülerinnen und Schüler physikalische Inhalte und Konzepte, denn „...Experimente zeigen Phänomene, rücken fachliche Fragestellungen in den Betrachtungshorizont der Schülerinnen und Schüler und liefern Antworten der Natur“ (Girwidz, 2020, S. 266).

Dabei verknüpfen sie „...drei unterschiedlich abstrakte Wissens- und Verständnisebenen: Die phänomenologische Ebene, die Beschreibung von Gesetzmäßigkeiten und die erklärende Theorie“ (Girwidz, 2020, S. 265). Dabei müssen im Unterricht die grundlegenden Schritte der Erkenntnisgewinnung durch Experimente herausgearbeitet werden, wobei aber auch Probleme, Fehlerquellen und Grenzen des betrachteten Experiments zu diskutieren sind. Praktisch-naturwissenschaftliche Arbeitsweisen umfassen Tätigkeiten wie Betrachten, Beobachten, Messen, Erkunden,

Vergleichen, Untersuchen, Experimentieren und Modellieren (Wilhelm & Kunz, 2016). *Experimentieren* wird aber häufig synonym als Oberbegriff zum praktisch-naturwissenschaftlichen Arbeiten verwendet, doch nach fachdidaktischem Verständnis ist mit *Experimentieren* „...das Durchlaufen eines vollständigen Experimentierprozesses gemeint“ (Metzger, 2023, S. 8). Metzger beschreibt diesen vollständigen Experimentierprozess mit 8 Teilschritten (siehe Abb.1), wobei sie wesentlich größeren Wert auf die mit dem Experiment zusammenhängenden kognitiven Kompetenzen und Handlungen legt, so dass das eigentliche Experimentieren nur einen Teilschritt des Gesamtprozesses darstellt. Schecker & Höttecke (2021) entwerfen ein sehr ähnliches Modell des Experimentierens, das durch 7 Teilkompetenzen beschrieben werden kann (Schecker & Höttecke, 2021; S.507).

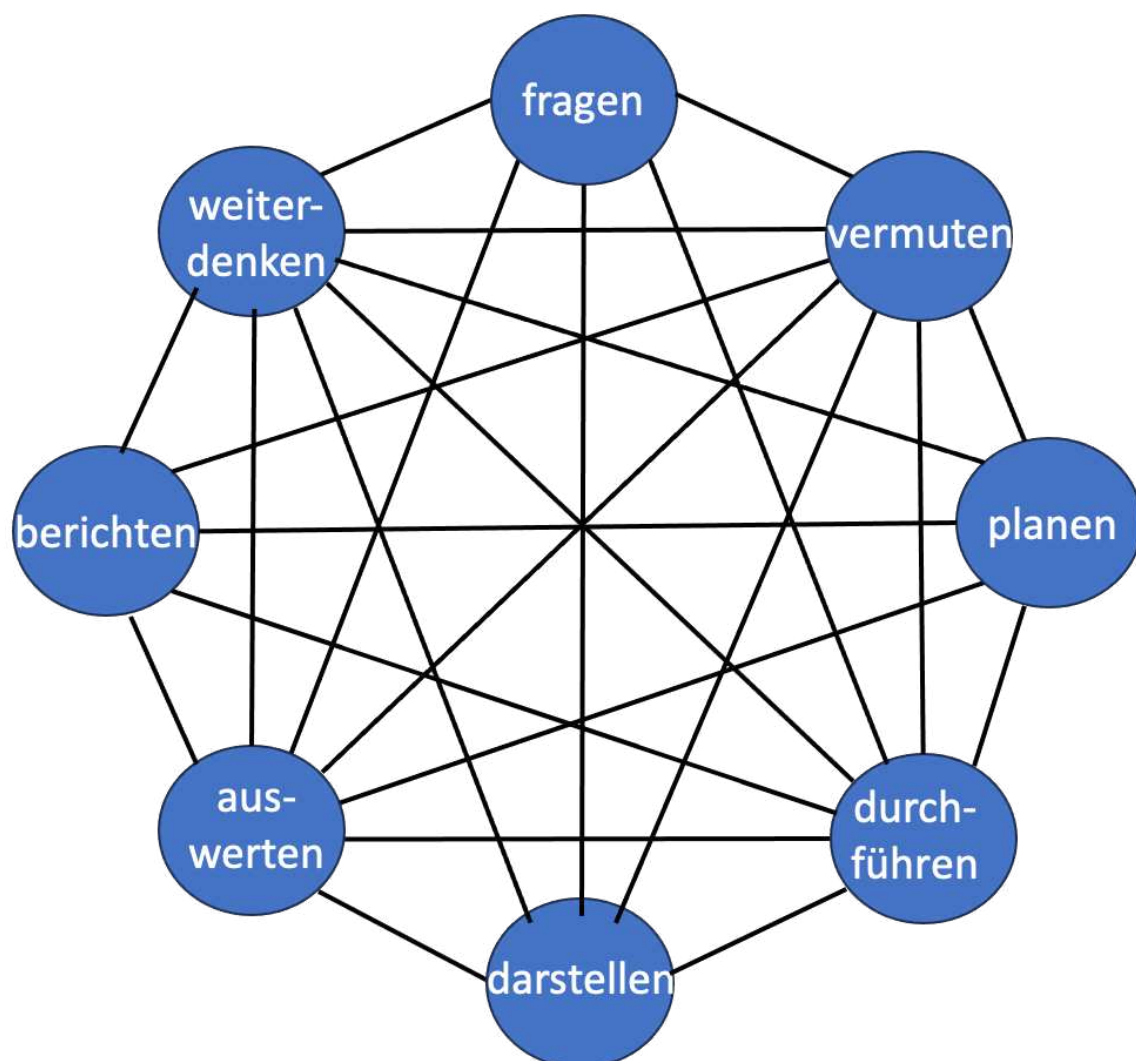


Abb. 1: Experimentierprozess nach Metzger, Quelle: Metzger, 2023, S.8.