

Implementierung modellbildender Lernangebote in das physikalische Praktikum

Albert Teichrew*, Roger Erb*

*Institut für Didaktik der Physik, Goethe-Universität Frankfurt
teichrew@physik.uni-frankfurt.de, roger.erb@physik.uni-frankfurt.de

Kurzfassung

Modellbildung ist neben der Durchführung von Experimenten ein wesentlicher Schritt naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung. Die Erfahrung zeigt, dass das Experimentieren und vor allem das Interpretieren der gewonnenen Daten schwerfällt, wenn das physikalische Modell nicht verstanden wurde, das dem Experiment zugrunde liegt. Das Durcharbeiten einer herkömmlichen Versuchsbeschreibung im Vorfeld des physikalischen Praktikums ist für eine eingehende Auseinandersetzung mit den relevanten Modellen nicht ausreichend. In dem von der Joachim Herz Stiftung geförderten Lehrvorhaben wird zur Vorbereitung auf Versuche zur geometrischen Optik im physikalischen Praktikum eine online Lernumgebung eingesetzt, die Modellbildung innerhalb der Dynamischen Geometrie-Software GeoGebra ermöglicht und zum virtuellen Experimentieren an mehreren Modellen auffordert. Im Rahmen einer explorativen Evaluationsstudie soll hierbei geklärt werden, wie und durch welche Einflussfaktoren sich der Einsatz digitaler Modellexperimente auf das Fachwissen einerseits und die Handlungen im Praktikum andererseits auswirkt.

1. Einleitung

Das Experiment gilt als das zentrale Verfahren naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung. In aktuellen Studien wurde die Auswirkung unterschiedlicher Sozialformen und Offenheitsgrade bei der Durchführung und Auswertung von Experimenten auf den Fachwissenszuwachs von Schülerinnen und Schülern untersucht [1], [2]. Die Ergebnisse legen nahe, dass die Unterrichtsform keinen signifikanten Einfluss auf den Fachwissenszuwachs hat. Die erfolgreiche Durchführung und Auswertung eines Experiments in der Schule ist dennoch als hinreichende Bedingung für den Ausbau von Fachwissen anzusehen. Als notwendige Bedingung könnte allerdings die Vorbereitung des Experiments eine größere Rolle spielen. Denn dort liegt häufig die Ursache für mögliche Fehler während des Experimentierens und beim Interpretieren der Daten.

Eine entscheidende Hilfestellung könnte die Arbeit mit Modellen liefern. Der Lösungsansatz, der mit dem vorgestellten Lehrvorhaben verfolgt und untersucht wird, sieht zum einen eine Auseinandersetzung mit digitalen Modellexperimenten zum behandelten Phänomen vor und zum anderen eine Überprüfung der aus dem Modell formulierten Hypothesen im anschließend durchgeführten Experiment.

In diesem Beitrag werden zunächst Ansichten zur Rolle der Modelle im Unterricht und ihre Bedeutung für die Erkenntnisgewinnung diskutiert. Auf Basis eines Strukturmodells, das sowohl Modellbildung als auch den Experimentierprozess beinhaltet, wird anschließend der Einsatz digitaler Medien zur Erarbeitung von Denkmodellen begründet und anhand der entwickelten Lernumgebung verdeutlicht.

Schließlich werden daran anknüpfende Forschungsfragen und das Studiendesign vorgestellt.

2. Forschungslage

Konzepte, die einen expliziten Unterricht über Modelle vorsehen, sind bereits entwickelt und untersucht worden. Ausschlaggebend waren dabei eine Vermittlung des hypothetischen Charakters naturwissenschaftlicher Modelle und eine explizit stattfindende Reflexion und Diskussion der Modellbildung und Modellnutzung [3]. Diese Faktoren hängen jedoch in erster Linie von der Modellkompetenz der Lehrkräfte selbst ab. In Interventionsstudien wird die Qualität der Umsetzung solcher Unterrichtsphasen in der Regel nicht kontrolliert.

Als Modellkompetenz wird ein System aus Kenntnissen und Fähigkeiten zur Bewältigung von Anforderungen im Umgang mit naturwissenschaftlichen Modellen bezeichnet. Zur Strukturierung der Modellkompetenz wurden fünf Teilkompetenzen formuliert und im Kontext der Biologie empirisch untersucht [4], [5]. Mit der Teilkompetenz „Eigenschaften von Modellen“ wird die Beziehung zwischen dem Original und dem Modell aufgegriffen. Unter „Alternative Modelle“ werden unterschiedliche Modelle zu einem Ausgangsgegenstand thematisiert. Der „Zweck von Modellen“ beinhaltet die verschiedenen Arten des Einsatzes von Modellen. In den Teilkompetenzen „Testen von Modellen“ und „Ändern von Modellen“ werden schließlich Möglichkeiten der Überprüfung und die Bedingungen für eine Überarbeitung abgedeckt. Die dazugehörigen drei Niveaustufen differenzieren die Ansichten: Modelle sind direkte Kopien der realen Welt, Modelle dienen der idealisierten Beschreibung von

etwas, Modelle werden als Anwendung für etwas eingesetzt (zur Erkenntnisgewinnung). Im Biologieunterricht wird viel mit gegenständlichen Modellen gearbeitet, die der Anschauung dienen. Dabei kann es durchaus vorkommen, dass Schülerinnen und Schüler alle Eigenschaften eines Modellobjekts fälschlicherweise mit denen des Originals gleichsetzen, was als niedrigste Stufe der Modellkompetenz verwendet wird. Im Physikunterricht hingegen treten Modelle weniger als Objekte und mehr als Denkmodelle auf. Auf der niedrigsten Stufe verorten wir deshalb die naive, aber verbreitete Ansicht, Modelle seien Erklärungen, die das Wesen und die Ursachen der Vorgänge in der Welt vollständig und alternativlos wiedergeben [6].

Um diesen Vorstellungen entgegenzuwirken, wird in phänomenologischen Ansätzen eine frühe Modellorientierung vermieden [7]. Stattdessen werden Lernprozesse unterstützt, die mithilfe von Sinneserfahrungen und deren Beschreibungen einen natürlichen Zugang zur Physik bieten. Das schließt jedoch einen reflektierten Umgang mit Modellen nicht aus. Dieser kann sich in einem Unterricht widerspiegeln, der von dem direkt erfahrbaren Phänomen ausgeht, sich aber auch am wissenschaftlichen Erkenntnisprozess orientiert. Bei den Ideen der Physik handelt es sich vor allem um kreative Denkmodelle, deren Konstruktion das Absehen von den phänomenologischen Gegebenheiten voraussetzt [8].

In Kompetenzmodellen zur Erkenntnisgewinnung wird zwischen naturwissenschaftlichen Untersuchungen, Modellbildung und einer wissenschaftstheoretischen Reflexion unterschieden [9], [10]. Als Modellbildung wird dabei der Bestandteil bezeichnet, der diese spezifische Methode des naturwissenschaftlichen Arbeitens beinhaltet. Die Ergebnisse der auf dieser Basis entwickelten Kompetenztests sind bezüglich der Aufteilung der Erkenntnisgewinnung in drei unabhängige Bereiche nicht eindeutig. Die grundsätzliche Möglichkeit, den Kompetenzbereich der Erkenntnisgewinnung mit schriftlichen

Tests abzudecken, mit denen die Qualität des naturwissenschaftlichen Arbeitens nicht erfasst werden kann, steht zur Diskussion.

Strukturmodelle zum wissenschaftlichen Denken oder experimenteller Kompetenz haben das Ziel, naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung als komplexen Problemlöseprozess abzubilden, der mehrere Schritte zu durchlaufen hat [11]. Dabei stehen die Schritte Planung, Durchführung und Auswertung eines Experiments im Zentrum, die mit Experimentiertests erfasst werden können [12], [13]. Allerdings fehlt es bislang an etablierten Strukturmodellen, die Modellbildung und Experiment in einem gemeinsamen Problemlöseprozess abbilden. Genauso bleibt es bei dem wichtigen Schritt „Hypothesen generieren“ offen, wie und woraus Hypothesen gewonnen werden können. Gerade das bereitet vielen Schülerinnen und Schülern Schwierigkeiten.

3. Kreislauf der Erkenntnisgewinnung

Das von der Joachim Herz Stiftung geförderte Lehrvorhaben basiert auf dem sogenannten Kreislauf der Erkenntnisgewinnung, der sich um vier Stationen anordnet und aus acht Schritten besteht [6] (siehe Abb.1). Die Stationen sind als wesentliche Unterrichtsgegenstände zu betrachten, die im Laufe des Kreislaufs sowohl als Lernprodukt als auch als Ausgangsmaterial für das weitere Vorgehen dienen. Ein Phänomen kann beispielsweise sowohl aus einer Beobachtung entwickelt als auch aus einem naturwissenschaftlichen Modell rekonstruiert werden. Gleichzeitig kann ein Phänomen als Grundlage dessen betrachtet werden, was modelliert werden soll, oder als Kenntnisstand, mit dem neue Beobachtungen eingeordnet werden können. Die ersten vier Schritte zielen auf die Einführung der Unterrichtsgegenstände ab, die in den nachfolgenden vier Schritten reflektiert werden:

1. Aus Beobachtungen ein unbekanntes Phänomen oder eine Fragestellung **entwickeln**.
2. Für ein Phänomen ein Modell **konstruieren**.

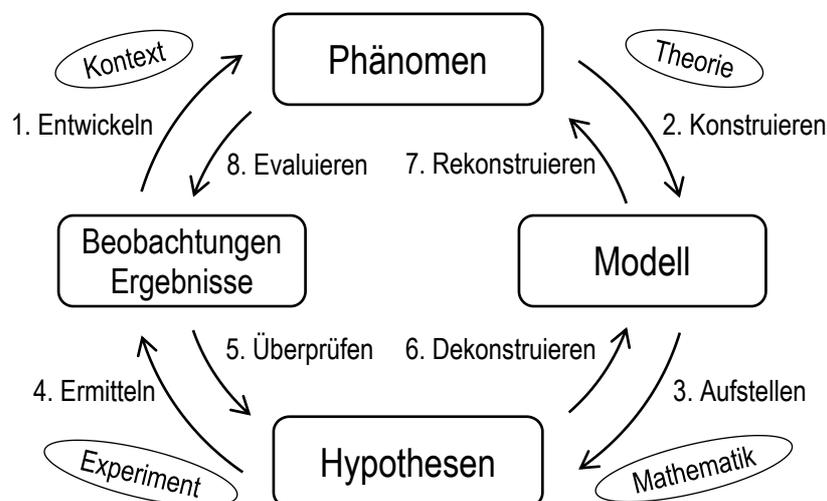


Abb.1: Kreislauf der Erkenntnisgewinnung: Schritte (Pfeile), Stationen (abgerundete Rechtecke) und Hilfsmittel (Ovale).

3. Mithilfe des Modells Hypothesen **aufstellen**.
4. Hypothesengeleitet experimentelle Ergebnisse **ermitteln**.
5. Mit experimentellen Ergebnissen Hypothesen **überprüfen**.
6. Anhand gestützter oder falsifizierter Hypothesen das Modell bestätigen oder **dekonstruieren**.
7. Aus dem revidierten Modell das Phänomen **rekonstruieren**.
8. Mithilfe der Kenntnisse zum behandelten Phänomen oder der beantworteten Fragestellung neue Beobachtungen **evaluieren**.

Die Beobachtungen, die zu einem Phänomen führen, können dem Alltag, der Natur oder einer experimentellen Demonstration entstammen. Dieser Schritt sollte in der Regel in einem passenden Kontext eingebettet werden. Das zum Phänomen passende (Denk-)Modell wird entweder aus bereits behandelten Konzepten zusammengesetzt oder neu erlernt. Wir sprechen an dieser Stelle von Modellbildung (Modell erarbeiten). Dieser Schritt greift auf physikalische Theorien zurück, die nicht im Unterricht selbstständig entwickelt werden können. Das Modell soll dabei nicht als Erklärung des Phänomens dienen, sondern die möglichen Zusammenhänge beschreiben, aus denen sich anschließend konkrete Hypothesen aufstellen lassen. Die Hypothesen werden formuliert als qualitative oder quantitative Zusammenhänge, die sich unmittelbar aus den Bestandteilen des Modells ergeben (Modell anwenden). Dabei wird eine Art von Mathematisierung nötig sein, die entweder mit vorhandenem Wissen aus dem Mathematikunterricht erfolgt oder entsprechend aufgearbeitet werden muss. Experimentelle Ergebnisse dienen in dem Kreislauf dazu, die Modellhypothesen zu überprüfen. Dieser Schritt findet innerhalb eines Experiments unter kontrollierten Bedingungen statt, mit dem Hypothesen gestützt oder verworfen werden können. An dieser Stelle werden Nebeneffekte deutlich, die im Modell nicht berücksichtigt wurden (Modell überprüfen). Diese werden bei der Eingrenzung des Modells diskutiert und fließen somit in die Interpretation der Ergebnisse ein. Im Gegensatz dazu ist das Einstiegsexperiment auf die reine Erzeugung eines Effekts ausgerichtet.

Bei diesem Kreislauf handelt es sich um eine idealisierte Darstellung eines Lernprozesses, der nicht mit jedem Phänomen in allen Einzelheiten durchlaufen werden kann. Ein wesentlicher Teil ist unter anderem an das SDDS-Modell angelehnt [14]. Im Vorfeld eines hypothesenüberprüfenden Experiments (Suche im Experimentierraum) findet eine Suche im Hypothesenraum in zwei Schritten statt: Erstellung eines Denkmodells (generate frame) mit möglichen Zusammenhängen gewisser Größen (slots), das im nächsten Schritt mit konkreten Werten zu Hypothesen präzisiert wird (assign slot values). Danach folgt der Experimentierprozess, der sich in Planung, Durchführung und Auswertung unterteilt. Ebenso

werden einzelne Teilkompetenzen der Modellkompetenz in den Schritten rund um das Modell angesprochen und gefördert.

4. Dynamische Modellexperimente

Der Einsatz digitaler Medien hat den Anspruch das Lehren und Lernen zu verbessern. Mit einer Vielzahl von Anwendungen kann eine Steigerung der Effizienz oder Erleichterung der Kommunikation im Lernprozess erreicht werden. Mit dem Einsatz dynamischer Modellexperimente hingegen verfolgen wir das Ziel, wichtige Schritte im Kreislauf der Erkenntnisgewinnung durch eine besondere Art der Darstellung und Interaktionsmöglichkeit zu erleichtern. Durch eine Analyse der vier Unterrichtsgegenstände, mit denen man sich im Laufe der Erkenntnisgewinnung auseinandersetzt, wird folgendes Spannungsfeld deutlich:

Beobachtungen, experimentelle Ergebnisse und Hypothesen sind an die konkrete Situation gebunden, während das Phänomen und das Modell abstrakt formuliert werden. Gleichzeitig sind Beobachtungen, Ergebnisse und Phänomene an Ereignisse in der realen Welt gebunden, während Modelle und Hypothesen als gedankliche Konstrukte zu sehen sind. Beim Durchlaufen des Kreislaufs sind also mehrere Ebenenwechsel sowohl im Abstraktionsgrad als auch im Realitätsbezug nötig (siehe Abb.2).

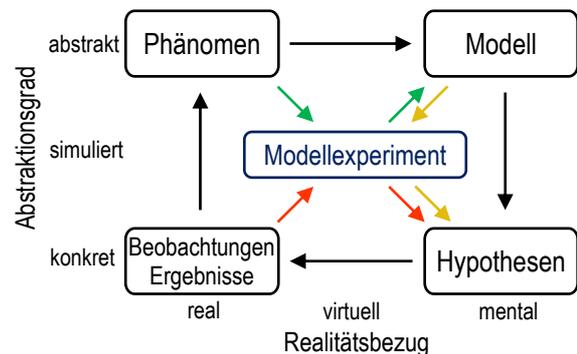


Abb.2: Dynamische Modellexperimente als Vermittler im Kreislauf der Erkenntnisgewinnung: Modell erarbeiten (grün), Modell anwenden (gelb), Modell überprüfen (rot).

An dieser Stelle lässt sich mithilfe dynamischer Modellexperimente Abhilfe schaffen. Sie sind in der virtuellen Welt angesiedelt und vermitteln zwischen dem, was real ist, und dem, was sich in dem Kopf einer Physikerin oder eines Physikers abspielt. Auf diese Weise können mithilfe dynamischer Darstellungen physikalische Denkmodelle konstruiert werden. Gleichzeitig wird in der Simulation durch Variation der Parameter eines abstrakten Modells eine explorative Lerntätigkeit ermöglicht, die konkrete Hypothesen hervorbringt. Die Gegenüberstellung von realen Ergebnissen und dem, was sich im Modellexperiment abspielt, erlaubt es schließlich das Modell zu überprüfen. Die Anwendung dieses theoretischen Konzepts wird am folgenden Beispiel zur Messung des Brechungswinkels skizziert.

In einem mit der dynamischen Geometrie-Software GeoGebra erstellten Modellexperiment kann der Lichtweg durch einen Halbkreiskörper durch Verschieben des Punktes P untersucht werden (siehe Abb.3). Je größer der Abstand vom Mittelpunkt des Halbkreiskörpers ist, desto stärker macht sich die zweifache Brechung beim Ein- und Austritt aus dem Körper bemerkbar.

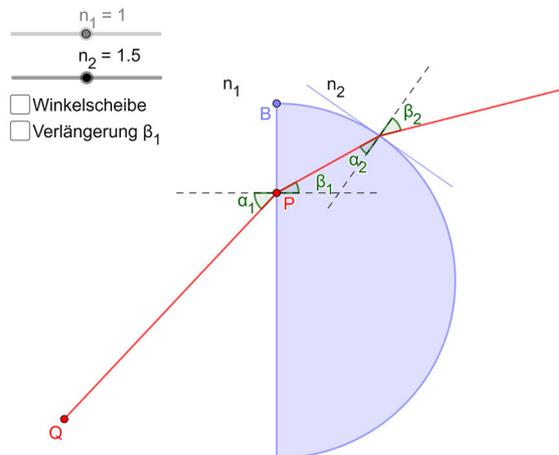


Abb.3: Dynamisches Modellexperiment zum Lichtweg durch einen Halbkreiskörper.

Was mit dem Modellexperiment gelernt werden kann, ist die Notwendigkeit, das Lichtbündel durch den Mittelpunkt des Blocks zu führen, um mit einer Winkelscheibe den Brechungswinkel beim Eintritt zu messen. Auf diese Weise wird ein Denkmodell zur Messung des Brechungswinkels erarbeitet. Gleichzeitig können durch Verschieben des Punktes Q verschiedene Brechungswinkel vorhergesagt und so das Modell angewendet werden (siehe Abb.4).

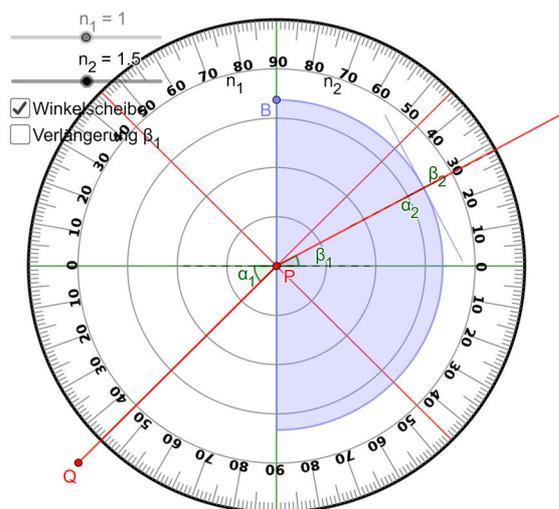


Abb.4: Einstellung zur Messung des Brechungswinkels.

Die Überprüfung der Hypothesen erfolgt anhand der Auswertung und Interpretation realer Messwerte im anschließend durchgeführten Experiment. Es besteht aber auch die Möglichkeit, diese Art dynamischer Modellexperimente direkt mit dem Experiment in Beziehung zu setzen. Im Sinne einer AR-

Anwendung (augmented reality) wird die Ansicht des Experiments mit dem hypothetischen Modell erweitert, das per Hand an die reale Situation angepasst wird. Der modellierte Lichtweg stimmt mit dem Weg des realen Laserbündels in allen Positionen bei der Einstellung der passenden Brechzahl gut überein (siehe Abb.5).



Abb.5: Überlagerung des Experiments und des Modells im Smartphone.

In diesem Anwendungsszenario stechen die Idealisierungen des Modells hervor. Zum Beispiel fehlen im Modellexperiment der reflektierte Strahl und andere Lichterscheinungen im Halbkreiskörper. Diese einfache Art einer zweidimensionalen AR-Anwendung wird realisiert, indem das Experiment von oben mit der Kamera eines Smartphones erfasst und das halbtransparente Bild in Echtzeit über das online verfügbare Modell gelegt wird.

5. Online Lernumgebung

Die theoretischen Überlegungen bildeten die Grundlage für den Aufbau einer Lernumgebung, die zur Vorbereitung auf Versuche im Praktikum der Optik eingesetzt wird. Der Kurs „Modellbildung mit GeoGebra“ wurde auf der Moodle-Lernplattform der Goethe-Universität Frankfurt aufgebaut und beinhaltet dynamische Modellexperimente und für die Studie benötigte Messinstrumente. Die physikalischen Inhalte sind zu einzelnen Lektionen zusammengefasst, die dem Kreislauf der Erkenntnisgewinnung folgen (siehe Tab.1).

Nr. Lektion	Beobachtung	Phänomen	Modell	Hypothese
1. Lichtausbreitung	Lichterscheinungen am Himmel	Schattengrenzen	Verschiedene Lichtwege über einen Punkt P	Licht nimmt zwischen zwei Punkten den kürzesten Weg.
2. Lichtreflexion	Spiegelungen im Wasser	Schattengrenzen am Spiegel	Verschiedene Lichtwege über einen Spiegel	Licht nimmt über einen Spiegel den kürzesten Weg, wobei das Reflexionsgesetz gilt.
3. Lichtbrechung	Füße im Wasser	Schattengrenzen im Plexiglaklotz	Verschiedene Lichtwege durch die Grenzfläche zwischen zwei Medien	Licht nimmt an einer Grenzfläche zwischen zwei Medien den Weg mit der kürzesten Laufzeit (qualitative Form des Brechungsgesetzes).
4.1 Halbkreiskörper	Halbkreiskörper aus Plexiglas	Zweifache Brechung am Halbkreiskörper	Lichtweg durch einen Halbkreiskörper	Licht wird beim Ein- und Austritt gebrochen. Zur Messung des Brechungswinkels beim Eintritt muss die Mitte des Halbkreiskörpers getroffen werden.
4.2 Brechungsgesetz			Winkel und Strecken am Einheitskreis	Das Produkt aus n_1 und $\sin(\alpha)$ ist gleich dem Produkt aus n_2 und $\sin(\beta)$ (quantitative Form des Brechungsgesetzes).
5.	Experimente mit Halbkreiskörpern aus Plexiglas zum Brechungsgesetz und Bestimmung der Brechzahl einer Flüssigkeit			
6.1 Totalreflexion	Aufsteigende Luftblase	Blick aus einem Aquarium	Intensitäten bei Brechung und Reflexion	Totalreflexion liegt beim Übergang von optisch dichten in optisch dünne Medien ab einem Grenzwinkel vor, bei dem der Brechungswinkel von 90° erreicht wird.
6.2 Optische Hebung	Münze im Wasser	Stich ins Wasser	Optische Hebung im Behälter	Optische Hebung hängt von Füllhöhe, Aufsichtswinkel und Brechzahl der Flüssigkeit ab.

Tab.1: Inhaltliche Übersicht der bisherigen Lektionen des Kurses.

Ausgehend von einer allgemeinen Beobachtung wird ein physikalisches Phänomen eingegrenzt. Die Studierenden arbeiten mit einem passenden dynamischen Modell und konstruieren eine Modellvorstellung des jeweiligen Phänomens. Sie wenden das Modell an, um Hypothesen und physikalische Aussagen daraus abzuleiten (Lektionen 1 bis 4). Die Hypothesen und Modellvorstellungen werden mit im Praktikum durchgeführten Experimenten überprüft (Lektion 5). Weiterführende Phänomene werden im Protokoll vertiefend behandelt (Lektion 6).

6. Forschungsfragen

Die praktische Ausgangslage für die Entwicklung eines modellbildenden Lernangebots ergibt sich aus der eingangs geschilderten Erfahrung, dass beim Lesen einer Versuchsbeschreibung einem Experiment zugrundeliegende qualitative und quantitative Zusammenhänge nicht klar werden, was die Ergebnisse im Praktikum beeinträchtigt. Die theoretische Ausgangslage lässt sich (angelehnt an das erweiterte kognitive Motivationsmodell von Heckhausen und Rheinberg [15]) folgendermaßen beschreiben: Der Lernprozess im Laufe eines Praktikumsversuches besteht aus einer

- Lernsituation** (Versuchsbeschreibung und Kolloquium), die in Verbindung mit der
- Person** (Selbstwirksamkeitserwartungen und intrinsische Motivation) keinen positiven Einfluss auf die
- Lernaktivitäten** (Vorbereitung, Durchführung und Auswertung des Experiments),
- Lernresultate** (Hypothesen, Messergebnisse, Schlussfolgerungen und Fachwissen) und

e) **Folgen** des Praktikums (Protokoll und Notenpunkte) hat.

In Verbindung mit dem entwickelten Lernangebot stellt sich daraufhin die allgemeine Forschungsfrage:

F: Welchen Einfluss haben dynamische Modellexperimente als Lernaktivität zur Vorbereitung eines Praktikumsversuches auf dessen Lernresultate?

Im Rahmen einer explorativen Evaluationsstudie muss dafür folgende, qualitative Forschungsfrage beantwortet werden:

F1: Wie gehen Studierende mit dynamischen Modellexperimenten um?

F2: Wie gestaltet sich die Hypothesenbildung anhand dynamischer Modellexperimente?

Parallel dazu soll folgende, quantitative Forschungsfrage beantwortet werden:

F3: Wie lassen sich die verschiedenen Lernresultate im Praktikum durch das spezifische Zusammenwirken der einzelnen Komponenten des Lernprozesses im Praktikum erklären?

7. Erhebungsmethoden

Für den qualitativen Teil der Arbeit werden Hypothesen in Form von Texteingaben gespeichert. An einem Präsenztage wird die Lernumgebung außerdem zur Vorbereitung einer Experimentierphase genutzt. Währenddessen werden Protokolle handschriftlich ausgefüllt, in denen Beobachtungen, experimentelle Ergebnisse sowie Schlussfolgerungen notiert werden. Vom Umgang mit den Modellen und dem Experimentiermaterial werden Bildschirm- bzw. Videoaufnahmen gemacht (siehe Abb.6).



Abb.6: Experimentiertisch und Aufnahmefläche.

Zu verschiedenen Messzeitpunkten werden für den quantitativen Teil in die Lernumgebung integrierte Fragebögen ausgefüllt. Dazu gehören neben persönlicher Angaben intervallskalierte Umfragen bezüglich

- mathematischer [15], computerbezogener [16] und experimenteller Selbstwirksamkeitserwartungen [17],
- intrinsischer Motivation bei der Arbeit mit den Modellen [18],
- Bewertung der Lernumgebung zur Vorbereitung auf den Praktikumsversuch (angelehnt an die Ergänzung E-Learning der Lehrveranstaltungsevaluation der Goethe-Universität Frankfurt).

Außerdem wird das Fachwissen bezüglich der Brechung mit Items eines Rasch-skalierten Tests für die geometrische Optik erhoben [19].

Mit der Kombination der verschiedenen Erhebungsmethoden wird eine gegenseitige Ergänzung persönlicher Merkmale und bewährter Skalen mit inhaltlichen Aussagen und beobachteten Handlungsmustern angestrebt. Nach Abschluss der Erhebung wird eine qualitative, quantitative und integrative Auswertung vollständiger Datensätze aller Probanden angestrebt, um den Lernprozess im Praktikum als Ganzes und in allen Fällen zu analysieren.

Für die Auswertung der Aufnahmen während der Arbeit mit den dynamischen Modellexperimenten ist eine Kombination aus niedrig und hoch inferenten Verfahren vorgesehen. Die Lernaktivitäten werden anhand folgender deduktiv entwickelter Kriterien bewertet (siehe Tab.2).

Verfahren	Kriterium	Beispielitem
Niedrig inferent	Intensität	Bearbeitungszeit in s
	Leistung	Die Versuchsperson betätigt x von n Bedienelementen mindesten einmal.
Hoch inferent	Bereitschaft	Die Versuchsperson arbeitet aktiv mit dem Modell.
	Kompetenz	Die Versuchsperson erforscht das Modell Schritt für Schritt.

Tab.2: Beispielitems für die Einschätzung der Aufnahmen nach Kriterien mit entsprechenden Verfahren (Erweiterung möglich).

Als Ergebnis wird eine Unterteilung der Stichprobe anhand der verschiedenen Ausprägungen ihrer Lernaktivität am Modellexperiment (Vorbereitung) angestrebt und eine Abhängigkeit von den quantitativ erhobenen Personenmerkmalen explorativ untersucht. Erwartungsgemäß sollte sich eine höhere Lernaktivität am Modell am stärksten auf die Lernresultate des Versuches auswirken und als ein Prädiktor für die Qualität der restlichen Lernaktivitäten im Laufe des Experiments (Durchführung und Auswertung) zeigen.

8. Zusammenfassung

Aus unserer Sicht spielen Modelle eine große Rolle für die Vorbereitung, Durchführung und Auswertung eines Experiments und die damit verbundene naturwissenschaftliche Erkenntnisgewinnung sowohl in der Forschung als auch in der Schule. Um adäquate Denkmodelle bezüglich im Physikunterricht behandelte Phänomene zu etablieren, wird der Einsatz dynamischer Modellexperimente vorgeschlagen. Mit einem Mixed-Methods-Design mit parallelen qualitativen und quantitativen Anteilen wird eine explorative Einschätzung der verständnisfördernden Wirkung dynamischer Modellexperimente beabsichtigt. Die Ergebnisse aus Befragungen und Kurztests werden mit Videoratings zum Umgang mit den Modellen und dem Experiment sowie qualitativen Aussagen der Studierenden verknüpft, um ein umfassendes Bild zu erhalten. Die darauf aufbauende Differenzierung sollte es erlauben, Lernprozesse im Laufe eines Praktikumsversuches besser zu verstehen.

9. Literatur

- [1] J. Winkelmann, Auswirkungen auf den Fachwissenszuwachs und auf affektive Schülermerkmale durch Schüler- und Demonstrationsexperimente im Physikunterricht. Berlin: Logos Verlag, 2015.
- [2] L. Muth, Einfluss der Auswertephase von Experimenten im Physikunterricht: Ergebnisse einer Interventionsstudie zum Zuwachs von Fachwissen und experimenteller Kompetenz von Schülerinnen und Schülern. Berlin: Logos Verlag, 2018.
- [3] A. Leisner, Entwicklung von Modellkompetenz im Physikunterricht: Eine Evaluationsstudie in der Sekundarstufe I. Berlin: Logos Verlag, 2005.
- [4] A. Upmeyer zu Belzen und D. Krüger, „Modellkompetenz im Biologieunterricht“, Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, Bd. 16, S. 41–57, 2010.
- [5] M. Krell, Wie Schülerinnen und Schüler biologische Modelle verstehen: Erfassung und Beschreibung des Modellverstehens von Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I. Berlin: Logos Verlag, 2013.

- [6] A. Teichrew und R. Erb, „Entwicklung der Modellkompetenz mit dem Zeigermodell am Doppelspalt“, in *Qualitätvoller Chemie- und Physikunterricht- normative und empirische Dimensionen*, C. Maurer, Hrsg. Universität Regensburg: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Regensburg 2017, 2018, S. 816.
- [7] N. Westphal, „Evaluation von phänomenbasiertem Physikunterricht: Seine Merkmale und Wirkungen auf Stereotypen, Selbstkonzept und Interesse“, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, Berlin, 2014.
- [8] H. Muckenfuß, „Retten uns die Phänomene? Anmerkungen zum Verhältnis von Wahrnehmung und Theorie.“, *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik*, Bd. 12, Nr. 63–64, S. 74–77, 2001.
- [9] P. Straube, *Modellierung und Erfassung von Kompetenzen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung bei (Lehramts-) Studierenden im Fach Physik*. Berlin: Logos Verlag, 2016.
- [10] C. Gehlen, *Kompetenzstruktur naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung im Fach Chemie*. Berlin: Logos Verlag, 2016.
- [11] J. Mayer, „Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen“, in *Theorien in der biomedizinischen Forschung*, D. Krüger und H. Vogt, Hrsg. Springer, 2007, S. 177–186.
- [12] D. Nawrath, V. Maiseyenko, und H. Schecker, „Experimentelle Kompetenz - Ein Modell für die Unterrichtspraxis.“, *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*, Bd. 60, Nr. 6, S. 42–49, 2011.
- [13] Heike Theißen, Horst Schecker, Knut Neumann, Bodo Eickhorst, und Martin Dickmann, „Messung experimenteller Kompetenz - ein computergestützter Experimentiertest -“, *PhyDid - Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, Bd. 1, Nr. 15, S. 26–48, 2016.
- [14] D. Klahr und K. Dunbar, „Dual Space Search During Scientific Reasoning“, *Cognitive Science*, Bd. 12, Nr. 1, S. 1–48, 1988.
- [15] C. Bescherer, *Selbsteinschätzung mathematischer Studierfähigkeit von Studienanfängerinnen und -anfängern. Empirische Untersuchung und praktische Konsequenz*. 2003.
- [16] C. Spannagel und C. Bescherer, „Computerbezogene Selbstwirksamkeitserwartung in Lehrveranstaltungen mit Computernutzung“, *Notes on Educational Informatics - Section A: Concepts and Techniques*, 5(1), S. 23–43, 2009.
- [17] H.-D. Körner und S. Ihringer, „Selbstwirksamkeit beim Experimentieren – Mädchen und Jungen in den Naturwissenschaften“, in *Vielfalt geschlechtergerechten Unterrichts: Ideen und konkrete Umsetzungsbeispiele für die Sekun-*
darstufen, 1. Aufl., C. Wiepcke und M. Kampshoff, Hrsg. Berlin: epubli, 2016, S. 106–140.
- [18] M. Wilde, K. Bätz, A. Kovaleva, und D. Urhahne, „Überprüfung einer Kurzskala intrinsischer Motivation (KIM)“, *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, Bd. 15, 2009.
- [19] J. Weber, J. Winkelmann, R. Erb, F. Wenzel, M. Ullrich, und H. Holger, „Ein Fachwissenschaftstest zur geometrischen Optik“, in *Implementati- on fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis*, C. Maurer, Hrsg. Uni- versität Regensburg: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Zürich 2016, 2017, S. 107.