

1 Einleitung

Das naturwissenschaftliche Experimentieren ist ein wichtiger Bestandteil des naturwissenschaftlichen Arbeitens. So bildet das Experiment auch einen festen Teil der Lehrpläne des naturwissenschaftlichen Unterrichts sowohl im Sachunterricht der Primarstufe (Ministerium für Schule und Bildung, 2021) als auch im Fachunterricht der weiterführenden Schulen (Ministerium für Schule und Bildung, 2019, 2022). In den entsprechenden Lehrplänen wird u.a. gefordert, dass die Schülerinnen und Schüler (im Folgenden S' uS) selbstständig experimentieren. Natürlich soll ein solcher selbstständiger Experimentierprozess von einem reinen plan- und ziellosen Arbeiten mit Experimentiermaterialien unterschieden werden. Dies bedeutet, dass die S' uS erfolgreich experimentieren.

Um zu experimentieren, sind verschiedene Kompetenzen erforderlich. Bspw. müssen neben dem Formulieren einer Fragestellung oder dem Notieren der Ergebnisse (Schreiber, 2012, S. 30) auf Grundlage der aus dem Experiment gewonnen Daten, Schlussfolgerungen gezogen werden können.

Dies ist nur möglich, wenn die Ergebnisse des Experiments unkonfundierte sind. Dies ist dann der Fall, wenn nicht mehrere Variablen in einem Experiment gleichzeitig untersucht wurden. Um solche unkonfundierten Daten zu gewinnen, muss beim Experiment die Variablenkontrollstrategie (im Folgenden VKS) beachtet werden. Hierunter wird verstanden, dass geklärt wird, welche Variable mit dem Experiment untersucht werden soll, welche Variable verändert werden soll und welche Variablen nicht verändert werden dürfen (Siler & Klahr, 2012). Da die VKS in allen Phasen des Experimentierprozesses verortet werden kann (Kalthoff, 2019, S. 21) und bei Missachtung keine belastbaren Ergebnisse aus einem Experiment gewonnen werden können, wird hier das Verständnis der VKS als eine zentrale Kompetenz zum erfolgreichen Experimentieren verstanden. Um die VKS richtig anzuwenden, werden bestimmte Fähigkeiten (Schwichow, 2015) benötigt. Diese werden im Folgenden als „VKS-bezogene Fähigkeiten“ beschrieben.

In vielen Studien wird das Verständnis der VKS oder der Erwerb VKS bezogener Fähigkeiten untersucht (Bullock & Sodian, 2003; Chen & Klahr, 1999; Kalthoff, 2019; Vorholzer, 2015). Die bisherige Forschung in diesem Bereich bezieht sich vor allem auf S' uS der Sek I bzw. Sek II, während für den Bereich der Primarstufe weniger Forschungsarbeiten (z.B. Bohrmann, 2017; Brandenburger, Salim, Schwichow, Wilbers & Mikelskis-Seifert, 2022) vorliegen. Offen bleibt, wie wirksam der Einsatz von Unterstützungsangeboten zur Förderung des Verständnisses der VKS in Bezug auf Lerner mit verschiedenen Voraussetzungen ist. Dabei ist

unklar, ob bestimmte Unterstützungsangebote besonders hilfreich für S' uS mit bestimmten Lernervoraussetzungen sind.

Die hier vorgestellte Studie soll dazu beitragen, diese Forschungslücke zu schließen. Die Studie entstand im Rahmen eines von insgesamt acht Teilprojekten des vom Land NRW geförderten Graduiertenkollegs SUSE I an der Universität Duisburg-Essen.

In den acht Teilprojekten wurde der Übergang des vielperspektivischen Sachunterrichts der Grundschule hin zum Fachunterricht der weiterführenden Schule aus Sicht der im Sachunterricht eingebetteten Fächer und des DAZ/DAF-Bereichs in den Blick genommen. Aufgrund der Forschungslage wird in dieser Arbeit, aus dem Blickwinkel des Faches Physik, die Förderung VKSbezogener Fähigkeiten mithilfe von Unterstützungsangeboten (Lösungsbeispielen und gestuften Lernhilfen) im Sachunterricht der Grundschule in den Fokus genommen.

1.1 Zielsetzung der Arbeit

In dieser Dissertationsarbeit werden Unterstützungsangebote in Form von gestuften Lernhilfen und Lösungsbeispielen zur Förderung VKSbezogener Fähigkeiten eingesetzt und hinsichtlich ihrer Wirksamkeit miteinander verglichen. Studien zu einem solchen Vergleich beider Unterstützungsangebote finden sich bisher nur im Bereich der Sekundarstufe I (Schmidt-Borcherding, Hänze, Wodzinski & Rincke, 2013) - nicht aber in der Grundschule. Daher ist unklar, inwieweit sich die Ergebnisse der Studie (ebd.) auf eine jüngere Zielgruppe übertragen lassen. Da sich Lösungsbeispiele und gestufte Lernhilfen nicht nur bzgl. ihrer Struktur, sondern auch bezogen auf ihre Anforderungen an die Lernenden unterscheiden, ist es möglich, dass Lernende mit unterschiedlich ausgeprägten Lernervoraussetzungen besser mit dem einen oder dem anderen Unterstützungsangebot arbeiten. Dies ist vor allem vor dem Hintergrund der stark heterogenen Lerngruppen in der Grundschule (Kluczniok, Große & Roßbach, 2011, S. 180), in der noch alle S' uS aus einem Einzugsgebiet zusammen unterrichtet werden, interessant. Dies führt zu dem Forschungsziel der Arbeit:

Forschungsziel

Empirischer Vergleich der Lernwirksamkeit von Lösungsbeispielen und gestuften Lernhilfen zum Erwerb VKSbezogener Fähigkeiten in der Grundschule unter Berücksichtigung verschiedener Lernervoraussetzungen.

Um dieses Forschungsziel zu erreichen, sind Interventionsmaterialien in Form von Lösungsbeispielen und gestuften Lernhilfen erforderlich. Um einen auf Lernvoraussetzungen bezogenen Vergleich zwischen beiden Unterstützungsangeboten ziehen zu können, muss sowohl die Arbeit mit den Lösungsbeispielen als auch mit den gestuften Lernhilfen zur Förderung des Verständnisses der VKS führen. Hieraus ergibt sich folgendes Entwicklungsziel der Arbeit:

Entwicklungsziel

Entwicklung vergleichbarer Interventionsmaterialien, die auf Lösungsbeispielen bzw. gestuften Lernhilfen basieren, und den Erwerb VKSbezogener Fähigkeiten fördern.

Um abzusichern, dass durch die Arbeit mit den Interventionsmaterialien der Erwerb VKSbezogener Fähigkeiten gefördert wird, wurden S' uS, die mit den Interventionsmaterialien gearbeitet haben, mit solchen verglichen, die nur die eingesetzten Tests bearbeiteten. Zusätzlich wurden die kognitive Belastung und Motivation der S' uS bei der Arbeit mit den Unterstützungsangeboten erfasst, um diese ggf. bei dem Vergleich der Unterstützungsangebote miteinbeziehen zu können.

1.2 Rahmenbedingungen der Arbeit

Die Interventionsstudie wurde an verschiedenen Grundschulen durchgeführt und ist in dem Sachunterricht verortet. Der Sachunterricht ist ein grundschulspezifisches Fach das in der unten beschriebenen Form nicht an den weiterführenden Schulen fortgeführt wird.

Durch den Sachunterricht der Grundschule soll den S' uS ermöglicht werden, „sich ihre Lebenswelt weiter zu erschließen, sich darin zu orientieren, mitzuwirken und verantwortungsbewusst darin zu handeln und diese mitzugestalten.“ (Ministerium für Schule und Bildung, 2021, S. 178). Um diesem Ziel gerecht zu werden, wird im Sachunterricht Wissen in unterschiedlichsten Themenbereichen vermittelt, z.B. Demokratie und Gesellschaft, Körper und Gesundheit oder Natur und Umwelt (Ministerium für Schule und Bildung, 2021). Daher wird der Sachunterricht der Grundschule auch als ein vielperspektivisches Fach bezeichnet (Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts, 2013). Das Fach umfasst nach ebd. folgende Perspektiven:

- Sozialwissenschaftliche Perspektive
- Naturwissenschaftliche Perspektive
- Geografische Perspektive
- Historische Perspektive
- Technische Perspektive

Die in dieser Dissertationsarbeit geleistete Forschung ist der naturwissenschaftlichen Perspektive des Sachunterrichts zuzuordnen.

Das Ziel der naturwissenschaftlichen Perspektive des Sachunterrichts ist es, „dass sich die Schülerinnen und Schüler zunehmend belastbare naturwissenschaftliche Konzepte und Vorstellungen und damit zusammenhängende Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen aneignen“ (Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts, 2013, S. 37).

Hierdurch kann bereits in der Grundschule eine Grundlage für die weitere naturwissenschaftliche Bildung im Fachunterricht der weiterführenden Schulen gelegt werden.

Um dieses Ziel zu erreichen, bezieht sich der Sachunterricht maßgeblich auf:

- die Besprechung von Naturphänomenen,
- das Vermitteln von naturwissenschaftlichen Denk-, Arbeits-, und Handlungsweisen
- sowie die Thematisierung des verantwortungsvollen Umgangs mit der Natur.

(Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts, 2013, S. 38)

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Vermittlung von naturwissenschaftlichen Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen in der Grundschule. Folgt man dem Perspektivrahmen der Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts, 2013, S. 39), wird darunter bspw. auch die sachorientierte Untersuchung von Naturphänomenen mithilfe von Experimenten verstanden. Dabei sollen S' uS geeignete Experimente selbstständig planen, durchführen und auswerten.

1.3 Struktur der Arbeit

Diese Arbeit ist, folgend auf die Einleitung, in drei Abschnitte gegliedert. Im ersten Abschnitt, dem „Theorieteil“, (Kap. 2–6) werden zentrale Begrifflichkeiten zu experimentellen Kompetenzen definiert, die VKS wird als eine solche Fähigkeit verortet und VKS bezogene Begrifflichkeiten werden aufgeklärt (Kap. 2&3). Des Weiteren wird die grundlegende Struktur von gestuften Lernhilfen und Lösungsbeispielen vorgestellt und ihr Einsatz im Lernprozess dargestellt (Kap. 4). Aufbauend darauf werden die Forschungs- und Entwicklungsfragestellungen abgeleitet (Kap. 5) und das Studiendesign zur Beantwortung dieser Fragen wird dargestellt (Kap. 6).

Im darauffolgenden Abschnitt, dem „Entwicklungsteil“ (Kap. 7&8), werden die eingesetzten Interventionsmaterialien und Testinstrumente vorgestellt. Dabei wird der für diese Studie konzipierte VKS-Test anhand eines Interpretations-Nutzungs-Arguments beschrieben und validiert.

Auf diesen Abschnitt folgt der „empirische Teil“ der Arbeit (Kap. 10-15), in dem zunächst die Stichprobe beschrieben wird, woraufhin eine Darstellung des Ablaufs der Testung und Intervention folgt (Kap. 10-11). Daran schließt sich die Beschreibung des Vorgehens der Datenauswertung und die Beantwortung und Diskussion der Entwicklungs- und Forschungsfragen (Kap. 12 14) an. Den Abschluss bilden eine Zusammenfassung der Arbeit, Limitationen sowie ein Ausblick auf weitere Forschungsmöglichkeiten (Kap. 15).

Theorieteil

2 Das naturwissenschaftliche Experiment

Das Experiment ist eine zentrale Methode des naturwissenschaftlichen Unterrichts (Ministerium für Schule und Bildung, 2022; Nerdel, 2017, S. 115). Eine klare wissenschaftliche Fassung des Begriffs „Experiment“ erweist sich allerdings als schwierig, da vielfältige Definitionen und Ansätze existieren (vgl. Höttecke & Rieß, 2015). Deshalb erfolgt in diesem Kapitel zunächst eine Klärung des Begriffs „Experiment“. Im Anschluss wird der in dieser Arbeit verwendete Begriff der „experimentellen Fähigkeiten“ aufgeklärt, gefolgt von der Vorstellung verschiedener Modellierungsansätze zur Beschreibung des Experiments.

2.1 Begriffsklärung „Experiment“

Um den Begriff des „Experiments“ zu fassen, ist es zunächst nötig, diesen von dem Begriff des „Versuchs“ abzugrenzen (vgl. Girwidz, 2015, S. 228). Eine Möglichkeit der Differenzierung zwischen den Begrifflichkeiten findet sich bei Hartinger, Grygier, Tretter und Ziegler (2013, S. 5). Hier werden Experiment und Versuch dahingehend unterschieden, dass bei einem Experiment am Anfang eine klar formulierte Fragestellung/ Vermutung steht, die mithilfe des Experiments aufgeklärt werden soll. Dies ist, nach ebd., bei einem Versuch nicht der Fall. Hier werden den S‘ uS anfangs Handlungsanweisungen vorgegeben (ebd.). Erst nach Kenntnis der Handlungsanweisungen werden den S‘ uS Fragen, z.B. zu Vermutungen über den Ausgang des Versuchs, gestellt. Weitere Möglichkeiten der Abgrenzung finden sich bei Steller, Bolte, Dietz und La Noto Diega (2019) sowie bei Wellnitz und Mayer (2013). Nach Steller et al. (2019, S. 64) wird in einem Versuch ein Phänomen dargestellt und es besteht die Möglichkeit, Daten zu sammeln. Der Weg der Versuchsdurchführung wird dabei dem Lernenden vorgegeben. Das Experiment ist, folgt man Wellnitz und Mayer (2013), konkreter. So ist nach ebd. ein Experiment eine Möglichkeit, naturwissenschaftliche Erkenntnisse über einen geeigneten Gegenstand zu generieren. Hierzu werden Ursache-Wirkungszusammenhänge zwischen verschiedenen Einflussfaktoren, sogenannten Variablen, untersucht, indem diese gezielt variiert, konstant gehalten und gemessen werden. Bei der Untersuchung dieser Variablen hilft die VKS. Befolgt man die VKS, können fehlerhafte Untersuchungen vermieden und so neue Erkenntnisse gewonnen werden.

Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Förderung VKS bezogener Fähigkeiten in der Grundschule und dem Verständnis der VKS anhand von Materialien, mit denen die S' uS an konkreten Fragestellungen arbeiten (Kap. 7). Aus diesem Grund wird in dieser Arbeit der Begriff des „Experiments“ im Sinne von Hartinger et al. (2013, S. 5) und Wellnitz und Mayer (2013) verwendet.

2.2 Experimentelle Fähigkeiten

Wie zu allen Inhalten des Unterrichts, werden auch zum Experiment durch den Lehrplan Kompetenzerwartungen formuliert. Dies soll ermöglichen, den Unterricht kompetenzorientiert zu gestalten. Hierzu wird vorgegeben, welche Kompetenzen die S' uS beim Erreichen einer bestimmten Klassenstufe erworben haben sollen.

Im Lehrplan des Sachunterrichts findet sich, bezogen auf das Experiment, die Kompetenzerwartung, dass S' uS Ausgangsfragestellungen für Experimente aus Beobachtungen ableiten und Experimente durchführen können (Ministerium für Schule und Bildung, 2021, S. 189). Diese Erwartungen werden durch den Perspektivrahmen für den Sachunterricht in Form von perspektivenbezogenen Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen näher ausformuliert (Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts, 2013, S. 38–39), z.B.:

„Schülerinnen und Schüler können [...] einfache Versuche zur Überprüfung von Vermutungen bzw. Widerlegung von Vermutungen beraten, planen und durchführen.“ (Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts, 2013, S. 40)

In den Lehrplänen für die weiterführende Schule werden bestimmte Kompetenzen zusätzlich in Kompetenzbereichen zusammengefasst. Das Experimentieren wird durch den Lehrplan des Ministerium für Schule und Bildung (2022) dem Kompetenzbereich der Erkenntnisgewinnung zugeordnet. Diese Kompetenzerwartungen werden im Folgenden durch den Lehrplan, ähnlich wie im Perspektivrahmen des Sachunterrichts, als konkretisierte Kompetenzerwartungen näher ausformuliert, z.B.:

„Die Schülerinnen und Schüler [...] konzipieren erste Experimente und Auswertungen zur Untersuchung einer physikalischen Fragestellung unter Beachtung der Variablenkontrolle.“ (Ministerium für Schule und Bildung, 2022, S. 23)

In der Forschung findet sich ein ähnliches Vorgehen. So werden bspw. bei Vorholzer, Aufschnaiter und Kirschner (2016) zunächst auf das Experiment bezogene

Teilkompetenzen formuliert (weitere Möglichkeiten der Unterteilung eines Experiments werden in Kap. 2.3 beschrieben):

- Formulierung von Fragen und Hypothesen
- Planung von Untersuchungen
- Auswertung und Interpretation von Daten

Diesen Teilkompetenzen werden dann zur Konkretisierung verschiedene Fähigkeiten zugeordnet z.B.:

- „Die Schüler/innen...
- ...formulieren naturwissenschaftliche Fragestellungen [...]
- ...identifizieren abhängige, unabhängige und Kontrollvariablen in einem Experiment [...]
- ...identifizieren im Hinblick auf die Variablenkontrolle korrekt und fehlerhaft geplante Experimente [...]"
(Vorholzer et al., 2016)

Es existieren demnach verschiedene Begrifflichkeiten (perspektivenbezogene Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen, konkretisierte Kompetenzerwartungen, Fähigkeiten) zur näheren Beschreibung von Kompetenzen beim Experiment. Um in dieser Arbeit klar herauszustellen, an welchen Stellen Fähigkeiten von S' uS zum Experimentieren beschrieben werden, soll hier der Begriff „experimentelle Fähigkeiten“ Verwendung finden.

Um nun das Experiment und damit verbundene experimentelle Fähigkeiten näher zu beschreiben, existieren verschiedene Modellierungsansätze.

2.3 Modellierung des Experiments

Für die Modellierung des Experiments existieren verschiedene Ansätze. Möglichkeiten der Abgrenzung solcher Modellierungen finden sich nach Gut, Metzger, Hild und Tardent (2014) zum einen in äußerlichen Aspekten. Dies bedeutet, dass verschiedene Ansätze sich z.B. darin unterscheiden, welche konkreten experimentellen Fähigkeiten in das Modell aufgenommen werden und welche nicht.

So ist es vorstellbar, dass die Entwicklung einer Fragestellung in einem Modell als experimentelle Fähigkeit mit in die Modellierung des Experiments aufgenommen wird (z.B. Schreiber, 2012), ein anderer Modellierungsansatz die Entwicklung ei-

ner Fragestellung nicht miteinbezieht (z.B. Gut et al., 2014). Solche Modelle lassen sich demnach äußerlich, bezogen auf die Aufnahme der Entwicklung einer Fragestellung in die Modellierung, voneinander abgrenzen.

Zum anderen können nach Gut et al. (2014) Modellierungsansätze auch danach unterschieden werden, auf welcher grundlegenden Struktur eines Experiments die Modellierung experimenteller Fähigkeiten erfolgt. Als solche Strukturen können der Problemtypenansatz (Gut, Hild, Metzger & Tradent, 2017) und der Teilprozessansatz (z.B. Schreiber, Theyßen & Schecker, 2009) voneinander unterschieden werden (Gut et al., 2014; Gut-Glanzmann & Mayer, 2018, S. 125). Beide Ansätze werden im Folgenden kurz vorgestellt.

Der Problemtypenansatz

Mithilfe von naturwissenschaftlichen Experimenten sollen Fragestellungen beantwortet bzw. Probleme aufgelöst werden. Somit kann das naturwissenschaftliche Experiment als ein Prozess des Problemlösens angesehen werden (Gut-Glanzmann & Mayer, 2018). Auch wenn die naturwissenschaftlichen Probleme vielfältig sind, finden sich bei experimentellen Herangehensweisen wiederkehrende Verfahren und Ansätze, die durch die Experimentierenden zur Lösungen angewendet werden, z.B.: „Untersuchung kausaler Zusammenhänge, [...], Vergleichen von Objekten, das Testen bestimmter Eigenschaften [...]“ etc. (Gut-Glanzmann & Mayer, 2018, S. 125). Bei der Modellierung des Experiments nach Gut et al. (2014) werden diese Verfahren und Ansätze als sogenannte Problemtypen beschrieben und damit verknüpfte experimentelle Fähigkeiten dargestellt. In der experimentellen Lösung eines Problems können ein oder mehrere Problemtypen verortet sein.

Modellierungsansätze im Sinne des Problemtypenansatzes können dahingehend unterschieden werden, wie verschiedene Problemtypen voneinander abgegrenzt werden. Nach Gut-Glanzmann und Mayer (2018, S. 130–131) bestehen Ansätze, die Problemtypen anhand...

- der Art des Erkenntnisgewinns durch die Problemlösung,
- des erforderlichen Konzeptwissens oder
- des benötigten Methodenwissens unterscheiden.

Ebenfalls können Problemtypen nach Wissensinhalt voneinander differenziert werden, da je nach Experimentieraufgabe ein unterschiedliches Problemverständnis und damit einhergehend verschiedene Problemlösemethoden beobachtet werden können.