

1 Einleitung

Die Fähigkeit Probleme zu lösen gehört zu den Schlüsselkompetenzen des 21. Jahrhunderts. Sie ist erforderlich, um Lösungen für komplexe Herausforderungen zu entwickeln und sich damit den Anforderungen einer sich kontinuierlich wandelnden Gesellschaft zu stellen (Bellanca & Brandt, 2010; Csapo & Funke, 2017).

Diese Bedeutsamkeit spiegelt sich auch in den durch die Kultusministerkonferenz verabschiedeten Bildungsstandards für das Fach Physik wieder. So soll der Physikunterricht entsprechend der Bildungsstandards für den mittleren Schulabschluss einen Beitrag zur Entwicklung eben dieser Schlüsselkompetenz leisten, indem er „[d]urch seine Inhalte und Methoden [...] für das Fach typische Herangehensweisen an Aufgaben und Probleme sowie die Entwicklung einer spezifischen Weltsicht [fördert].“ (Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland [KMK] 2005, S. 6). Im Kompetenzbereich „Fachwissen“ steht dann auch nicht der Wissensabruf, sondern vielmehr der aktive Umgang mit dem Fachwissen zum Lösen fachlicher Probleme im Vordergrund (Institut zur Qualitätssicherung im Bildungswesen [IQB], 2018).

Dies spiegelt auch das niedersächsische Kerncurriculum wieder. Hier wird das Lösen von Problemen sogar als eigenständige Kompetenz postuliert, die den prozessbezogenen Kompetenzen im Allgemeinen und hier der Erkenntnisgewinnung im Besonderen zugeordnet ist (Niedersächsisches Kultusministerium 2015).

Die Fähigkeit oder Kompetenz Probleme zu lösen ist also ein - wenn nicht sogar das - erklärte Ziel des Physikunterrichts. Typische Problemlöswerkzeuge in der Physik sind Erhaltungssätze und daraus abgeleitete Modelle und Konzepte, wie das für die Physik zentrale Energiekonzept. In der Physik werden solche Werkzeuge sowohl zur Beschreibung der Natur als auch als Analysewerkzeug zur Erforschung der Natur bzw. offener Problemstellungen eingesetzt (Krause, 2011). So lässt sich ein kompliziertes System beschreiben und dessen Verhalten vorher sagen, wenn man Energieflüsse im System oder über die Systemgrenzen hinweg auf Grundlage des Energieerhaltungssatzes bilanziert. Dieses zentrale Analysewerkzeug sollten Schülerinnen und Schüler als solches kennen, beschreiben und anwenden können (Krause, 2011).

Die Kompetenz Probleme zu lösen ist aber nicht zuletzt wegen der Vielfalt an erforderlichen Vorkenntnissen besonders anspruchsvoll. Das bemerkt schon das niedersächsische Kerncurriculum für das Fach Physik und gibt den Hinweis, dass es nur langsam und schrittweise entwickelt werden kann (Niedersächsisches Kultusministerium 2015). Dieser Feststellung entsprechen Untersuchungen zu Schülervorstellungen sowie zur Entwicklung physikalischer Kompetenz in der Sekundarstufe 1, die belegen, dass gerade das so zentrale Energiekonzept und

hier insbesondere der Bilanzierungsgedanke, der ein Problemlösetool der Physik par excellence darstellt, den Schülerinnen und Schülern besonders Schwierigkeiten bereitet (Duit, 2014; Neumann, Viering, Boone & Fischer, 2013).

Wie lässt sich aber diese sehr anspruchsvolle Kompetenz im Physikunterricht fördern?

In seinem viel zitierten Buch fasst Hattie (2009) die Ergebnisse zahlreicher Studien aus dem angelsächsischen Raum zu den Auswirkungen verschiedener Bildungseinflüsse und -interventionen auf das Lernen von Schülerinnen und Schülern zusammen. Die Ergebnisse legen nahe, dass es einige Methoden gibt, die den Lernerfolg von Schülerinnen und Schülern nachhaltig fördern (Hattie, 2009). Im Zusammenhang mit dem Erwerb von Problemlösekompetenzen zeigt Hattie (2009), dass Beispielaufgaben hier das Mittel der Wahl sein könnten.

Beispielaufgaben bestehen aus einer (domänenspezifischen) Problemstellung, Lösungsschritten und der endgültigen Lösung. Die Lösungsschritte können dabei mehr oder weniger detailliert ausgearbeitet sein.

Überdies benennt er insbesondere Feedback als leistungsfähiges Werkzeug zur Unterstützung des Lernens von Schülerinnen und Schülern. Laut seiner Metaanalyse stellt Feedback sogar das effektivste Werkzeug zur Unterstützung des Lernens dar (Hattie, 2009).

Die Herausforderung besteht nun darin, diese Methoden in geeigneter Weise miteinander zu kombinieren und im regulären Physikunterricht zu implementieren. Schließlich gilt es dann zu überprüfen, inwiefern unter den Bedingungen realen Physikunterrichts der Erwerb konkreter Kompetenzen z.B. im Bereich Energie dadurch befördert wird. Damit ist die zentrale Frage der vorliegenden Arbeit grob umrissen:

Wie wirken sich Beispielaufgaben in Kombination mit Feedback auf das Lernen aus, wenn sie im regulären Physikunterricht im Bereich Energieerhaltung und -bilanzierung eingesetzt werden?

Um dieser Frage nachzugehen, wurde im Rahmen des Promotionsprojektes eine Beispielaufgabensequenz zum Thema Energie quantitativ entwickelt und im regulären Physikunterricht an niedersächsischen Gymnasien eingesetzt und evaluiert.

Die Beispielaufgabensequenz wurde dabei in eine Tablet-gestützte Lernumgebung eingebettet, die die Lerner durch die Beispielaufgaben führt und damit selbstständiges Lernen ermöglichen soll. Die Tablet-gestützte Lernumgebung ermöglicht außerdem einen verhältnismäßig einfachen Einsatz der Aufgaben im regulären Physikunterricht und vereinfacht die Erhebung, der für die Untersuchung relevanten Daten.

In der vorliegenden Arbeit wird dieses Forschungsprojekt nun dokumentiert.

Die Darstellung gliedert sich dabei in die vier Teile *Theorie* (Kapitel 2), *Anlage der Studie* (Kapitel 3), *Auswertung* (Kapitel 4) und *Diskussion*. (Kapitel 5)

Eine wesentliche Grundlage für die vorliegende Arbeit bildet zunächst die Beispielaufgabenforschung. Der aktuelle Forschungsstand in diesem Fachgebiet wird in Kapitel 2.1 dargestellt. Dabei wird geklärt, was Beispielaufgaben sind und erörtert, welche Rolle sie im Zusammenhang mit dem Erwerb von Problemlösekompetenzen spielen (könnten).

Da im Rahmen dieser Arbeit konkrete Beispielaufgaben zum Thema Energie untersucht werden sollen, bildet das Themenfeld Energie ebenfalls eine wichtige fachtheoretische Grundlage und wird in Kapitel 2.2 dargestellt. Es werden zunächst die fachlichen Grundlagen geklärt sowie Lernschwierigkeiten in diesem Bereich erörtert. Vor diesem Hintergrund werden die Kompetenzen, die Schülerinnen und Schüler den Bildungsstandards im Allgemeinen und dem niedersächsischen Kerncurriculum im Besonderen entsprechend entwickeln sollen, erläutert und eingeordnet. Davon ausgehend werden in dem Spannungsfeld zwischen Lernzielen und Lernschwierigkeiten zentrale Empfehlungen und Konzepte aus dem Bereich der Fachdidaktik vorgestellt.

Vor dem Hintergrund der Beispielaufgabenforschung und unter Einbeziehung der inhaltlichen Ausrichtung der Beispielaufgaben werden schließlich Forschungslücken benannt und Forschungsfragen in Zusammenhang mit dem Einsatz von Beispielaufgaben im regulären Physikunterricht in der Sekundarstufe 1 herausgearbeitet (Kapitel 2.3).

Die inhaltliche und gestalterische Konzeption der Beispielaufgabensequenz und deren Einbettung in eine digitale Lernumgebung werden in Kapitel 3 erläutert. In diesem Teil werden außerdem das Untersuchungsdesign vorgestellt und die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten und eingesetzten Erhebungsinstrumente beschrieben.

In Kapitel 4 wird schließlich die Auswertung der Daten dargestellt. Die Darstellung der Auswertung erfolgt dabei entsprechend der eingesetzten Testinstrumente. Die dazu jeweils verwendeten statistischen Verfahren werden hier ebenfalls erläutert.

Abschließend werden in Kapitel 5 die Ergebnisse zusammengeführt und in Bezug auf die Forschungsfragen und den aktuellen Forschungsstand in der Naturwissenschaftsdidaktik diskutiert und Empfehlungen für die Unterrichtspraxis abgeleitet.

2 Theoretischer Hintergrund

Im Folgenden wird der theoretische Rahmen der vorliegenden Arbeit abgesteckt. Da der Gegenstand Beispielaufgaben zum Thema Energie sind, gliedert sich der nachfolgende Theorieteil entsprechend in die beiden Abschnitte: (1) Beispielaufgaben und (2) Energie. Dabei wird zunächst in Teil 2.1 das Themenfeld „Lernen mit Lösungsbeispielen“ aus fachdidaktischer Perspektive beleuchtet und davon ausgehend die wesentlichen Implikationen für die vorliegende Arbeit herausgestellt. Da es zu diesem Themenfeld bereits viele Überblicksartikel (Atkinson, Derry, Renkl & Wortham, 2000), Dissertationen (Schüßler, 2017; Stark, 1999) sowie Handbuchartikel (Renkl, 2011) gibt, die den aktuellen Stand der Forschung gut abbilden, soll dieser hier nicht erneut im Detail nachgezeichnet, sondern nur insoweit dargestellt werden, wie er eine Voraussetzung für die vorliegende Arbeit ist. Ein besonderes Augenmerk gilt dabei dem Herausarbeiten der Limitationen bisheriger Forschung im Hinblick auf den Einsatz dieser Lernmethode im Physikunterricht der Sekundarstufe 1. Besonders bedeutsam sind in diesem Zusammenhang die unklare Befundlage zur Rolle des Vorwissens beim Lernen mit Beispielaufgaben (2.1.4.2), sowie die Frage, inwieweit sich das Lernen mit Beispielaufgaben durch den Einsatz von Feedback verbessern lässt (2.1.6).

In Teil 2.2 wird sodann das Thema Energie ebenfalls aus fachdidaktischer Perspektive erörtert. Fachdidaktisch meint dabei, dass der Schwerpunkt in diesem Teil nicht so sehr auf der fachlichen Perspektive sondern vielmehr auf der Perspektive curricularer Vorgaben damit verbundener Lernschwierigkeiten liegt. Abschließend werden in Kapitel 2.3 die herausgearbeiteten Forschungslücken (2.1) und die thematischen Rahmenbedingungen (2.2) zusammengeführt und in Form von Forschungsfragen zugespitzt.

2.1 Lernen mit Beispielaufgaben aus fachdidaktischer Perspektive

Lernen mit Beispielaufgaben oder – synonym zu verwenden – beispielbasiertes Lernen ist eine Lernmethode, die meist eine ganze Serie von Beispielaufgaben nutzt, um Problemlöseschemata, domänenspezifische Konzepte oder auch Fachwissen zu vermitteln (Mandl, Gruber, Hinkofer & Stark, 2001; Troper, Leiss D. & Hänze, 2012).

Das Kernelement bildet dabei die Beispielaufgabe, andere Begriffe dafür sind „Lösungsbeispiel“ oder aus dem Englischen *worked-example* oder *worked-out-example*.

Mittlerweile wurden sowohl in der psychologischen, der mathematikdidaktischen, als auch in der naturwissenschaftsdidaktischen Literatur eine Vielfalt an

unterschiedlichsten Beispielaufgaben zum Forschungsgegenstand gemacht. Neben grundlegenden Arbeiten, die Lernprozesse beim Lernen mit Beispielaufgaben aus kognitionspsychologischer Perspektive betrachten (Chandler & Sweller, 1991; Chi, Bassok, Lewis, Reimann & Glaser, 1989; Chi & VanLehn, 1991; Cooper & Sweller, 1987; Recker & Pirolli, 1995), finden sich vor allem Untersuchungen zu Vorteilen von Beispielaufgaben (überwiegend im Vergleich zu Problemlöseaufgaben) (Eysink et al., 2009; Sweller, J. & Cooper, G. A., 1985; Zhu, X., & Simon, H., 1987), sowie zu der Frage nach der optimalen Gestaltung von Beispielaufgaben, wobei sowohl Einflüsse der Oberflächengestaltung (Kontext, Design) (Catrambone & Holyoak, 1990; Kölbach, 2011), als auch strukturelle Unterschiede untersucht werden (Catrambone & Holyoak, 1990, 1990; Ward, M., & Sweller, J., 1990). Als Material dienen dabei Beispielaufgaben aus unterschiedlichen Domänen, überwiegend aus der Mathematik und hier insbesondere der Wahrscheinlichkeitsrechnung. Einen Überblick über eine interessierte Auswahl an Studien bietet die Tabelle im Anhang. Interessiert, weil die Auswahl dabei vor dem Hintergrund des eigenen Forschungsinteresses getroffen wird. Da die vorliegende Arbeit in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung – genauer in der Physikdidaktik – zu verorten ist, knüpft sie entsprechend auch an Studien aus diesem Bereich an. Überdies sind auch Studien zu Beispielaufgaben unter anderer Forschungsperspektive bedeutsam, sofern Beispielaufgaben aus der Domäne Physik eingesetzt worden sind oder wenn es sich um besonders grundlegende Studien handelt.

2.1.1 Was sind Beispielaufgaben?

Abbildung 2.1-1 zeigt eine typische Beispielaufgabe, wie sie häufig in Physiklehrbüchern zu finden ist. Sie wurde dem Kapitel „Energieänderung und Temperaturveränderung“ eines Physikbuches für die Sekundarstufe 1 in Niedersachsen entnommen und schließt sich dort an einen Informationstext zum Thema „Energie-Temperatur-Gleichung“ an (*Spektrum Physik*, 2010). Es handelt sich um ein Rechenbeispiel, das die Anwendung der zuvor im Informationstext eingeführten Energie-Temperatur-Gleichung in einem Anwendungskontext veranschaulichen soll. In der genannten Abbildung wurden die drei wesentlichen Elemente einer Beispielaufgabe hervorgehoben: Beispielaufgaben bestehen (1.) zunächst aus der Darstellung eines Problems, mithin Aufgabenstellung, (2.) dann dem Lösungsweg und (3.) schließlich der Lösung des Problems (Atkinson et al., 2000; Eysink et al., 2009; Renkl, 2001; Troper et al., 2012). Diese drei Elemente sind allen Beispielaufgaben gemein, auch wenn sie vor allem im Hinblick auf strukturelle Details variieren können.

Überdies lässt sich ebenfalls für alle Beispielaufgaben sagen, dass sie mit dem Zweck eingesetzt werden, domänenspezifische Problemstellungen, zugehörige Konzepte, Problemlöseschemata und mitunter auch erforderliches Fachwissen in Anwendungskontexten zu veranschaulichen und entsprechende Lernprozesse