

1. Einleitung

Das Lösen von Physikaufgaben fällt vielen Schülerinnen und Schülern¹ sehr schwer (vgl. Merzyn, 2008, S. 76). Eine Vielzahl von Schulleistungsstudien belegt, dass dies für alle Altersstufen gilt und nicht nur in Deutschland zu beobachten ist (vgl. OECD, 2014; Baumert und Bos, 2000; Kampa, 2013).

Fragt man Schüler, was aus ihrer Sicht Physikaufgaben besonders schwierig macht, erhält man Aussagen der folgenden Art: *Physikaufgaben sind besonders schwierig, weil man sich die Aufgabenstellungen nicht vorstellen kann und daher auch nicht weiß, was man eigentlich machen soll. Oft ist nicht klar, welche der vielen Formeln man genau zur Berechnung einer physikalischen Größe nehmen soll, wie man mehrere Formeln kombinieren kann und auch nicht, wie das mit den Einheiten genau geht.*

Im Rahmen der Schulleistungsstudien und physikdidaktischer Untersuchungen wurde in den vergangenen Jahren untersucht, welche Aufgabenmerkmale Physikaufgaben besonders schwierig machen (u. a. Brandenburger, 2016, Prenzel u. a., 2002 und Klieme, 2000). Die in diesem Zusammenhang entwickelten Modelle zur Erklärung der Aufgabenschwierigkeit liefern zwar Hinweise darauf, welche Einzelmerkmale (u.a. ein hoher Mathematikanteil, lösungsrelevantes Faktenwissen) Physikaufgaben für Schüler schwierig machen; sie liefern aber kein einheitliches Bewertungsschema, mit dem man die Komplexität einer beliebigen Physikaufgabe auf einer Skala einordnen könnte. Sie liefern auch keine Hinweise darauf, an welcher Stelle im Lösungsprozess (z. B. beim Lesen des Aufgabentextes, beim Finden des physikalischen Zusammenhangs, beim Finden der richtigen Formel, beim Umstellen nach der gesuchten Größe, bei der Betrachtung der Einheiten, ...) die Probleme der Schüler besonders groß sind.

In der Schule gelten strukturierende Zusatzfragen oder Hilfekarten als sinnvolle Konzepte zur Unterstützung der Schüler beim Lösen von Physikaufgaben. Der Einsatz von Zusatzfragen bei der Bearbeitung von Physikaufgaben, die den Lösungsprozess strukturieren und organisieren, wurde von Jaeger u. a. (2017a) untersucht. Es wurde vermutet, dass der Einsatz von strukturierenden Zusatzfragen einen positiven Einfluss auf den Lösungserfolg der Schüler hat. Erste Studiener-

¹Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in dieser Arbeit in der Regel die männliche Schreibweise verwendet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten grundsätzlich für alle Geschlechter.

1. Einleitung

gebnisse zeigen jedoch, dass Zusatzfragen, wie sie im Standardwerk zum Lösen mathematischer Probleme von George Pólya (vgl. Pólya, 1949) vorgeschlagen werden, wider Erwarten für vergleichsweise wenig komplexe Physikaufgaben keinen positiven Effekt auf die Leistung, die Motivation oder die kognitive Belastung haben (vgl. Jaeger u. a., 2017a, S. 5).

Da Physik und damit auch das Lösen von Physikaufgaben bei vielen Schülern sehr unbeliebt ist (vgl. Fruböse, 2010, S. 388), wurde in den vergangenen Jahren darüber hinaus untersucht, ob die Einkleidung von Physikaufgaben in möglichst interessante (Alltags-) Kontexte die Motivation und den Lösungserfolg steigern können. Tatsächlich erwiesen sich die sogenannten kontextorientierten Aufgaben im Vergleich zu traditionellen Rechenaufgaben als deutlich motivierender, es gibt aber keine eindeutigen Ergebnisse dahingehend, dass durch Kontexte der Lösungserfolg verbessert werden kann (vgl. Henning, 2014, Bennett u. a., 2003, Kuhn, 2011).

Aus der psychologischen Forschung ist bekannt, dass neben den Aufgabenmerkmalen auch der Problemlöser, das heißt seine kognitiven und nicht-kognitiven Fähigkeiten einen Einfluss auf den Lösungserfolg haben (vgl. Frensch und Funke, 1995, S. 22; MacHattie u. a., 2013, 47 ff.). Aus der Forschung zum Problemlösen ist darüber hinaus schon länger bekannt, dass Experten beim Lösen von Aufgaben und insbesondere von Physikaufgaben ganz anders vorgehen als Schüler (vgl. Simon und Simon, 1978 oder Chi u. a., 1981). Experten sind beim Lösen von Aufgaben erfolgreicher, weil sie eine bestimmte Lösungsstrategie verfolgen und Einzelinformationen mithilfe von erlernten „Tricks“ zu Gruppen verdichten (vgl. Simon und Simon, 1978, Chi u. a., 1981, de Jong und Ferguson-Hessler, 1991, Larkin und Reif, 2007, Dhillon, 1998, Stindt, 2014, vgl. Johnstone und El-Banna, 1986).

Die aus der fachdidaktischen und der psychologischen Forschung bekannten Faktoren, die einen Einfluss auf das Lösen von Physikaufgaben haben können, wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit in ein neues Modell zum Lösen von Physikaufgaben (MoPha) integriert. Ausgehend von diesem Modell wurde ein neues, *gedächtnisorientiertes* Aufgabendesign entwickelt. Durch gezielte Instruktionen, die den Lösungsprozess strukturieren und Hinweise auf den zugrundeliegenden physikalischen Zusammenhang liefern, soll bei den Schülern Gedächtniskapazität frei werden, die dann zur systematischen Aufgabenlösung eingesetzt werden kann.

Es wurde erwartet, dass der Lösungserfolg bei diesen *gedächtnisorientierten* Aufgabenstellungen höher als bei klassischen Physikaufgaben ist.

Das neue Aufgabendesign wurde in einer Studie mit 158 Zehntklässlern an Gymnasien evaluiert. Um herauszufinden, ob es den Lösungserfolg der Schüler steigert, wurden drei Gruppen verglichen: Eine Gruppe bearbeitete Aufgaben im *gedächtnisorientierten* Design, eine andere Gruppe im *klassischen* Rechenaufgaben-Design und eine weitere Gruppe im *kontextorientierten* Design.

Diese Arbeit ist wie folgt aufgebaut:

In **Kapitel 2** werden die theoretischen Überlegungen und empirischen Befunde der psychologischen und didaktischen Forschung zum Aufgaben- bzw. Problemlösen vorgestellt. Anschließend wird ein Modell zum Lösen von Physikaufgaben vorgestellt, das die aus der Forschung bekannten Faktoren systematisiert, die beim Lösen von Physikaufgaben eine Rolle spielen.

In **Kapitel 3** wird das gedächtnisorientierte Aufgabendesign vorgestellt und anhand von Beispielen typischen physikalischen Rechenaufgaben und kontextorientierten Aufgaben gegenübergestellt.

In **Kapitel 4** werden die aus dem Theorieteil abgeleiteten Fragestellungen vorgestellt.

In **Kapitel 5** werden die verwendeten Physikaufgaben, die Messinstrumente, die Durchführung der Untersuchung und die untersuchte Stichprobe beschrieben.

In **Kapitel 6** werden die Ergebnisse zu den Fragestellungen aus Kapitel 4 vorgestellt.

Im abschließenden **Kapitel 7** werden die Ergebnisse und wesentliche Erkenntnisse dieser Arbeit zusammengefasst, diskutiert und Folgerungen für sich anschließende Forschungsfragen gezogen.

2. Lösen von Physikaufgaben

Eine Vielzahl von Studien belegt, dass das Lösen von Physikaufgaben viele Schüler vor große Probleme stellt.

In der **PISA-Studie** wurde im Jahr 2012 das naturwissenschaftliche Verständnis der Schüler im Alter von 15 Jahren untersucht (vgl. OECD, 2007a, S. 58). Etwa 12% der Schüler in Deutschland erreichten nicht das Grundkompetenzniveau (vgl. Tabelle I.5.10 OECD, 2014, S. 249). „Diese Schüler können bestenfalls naheliegende naturwissenschaftliche Erklärungen liefern, die explizit aus gegebenen Informationen hervorgehen“ (Bloem, 2012, S. 4). Dies ist kein deutsches Phänomen. Im OECD-Durchschnitt erreichten sogar 18% der Schüler das Grundkompetenzniveau nicht. Nur etwa 12% der Schüler in Deutschland erreichten die Kompetenzstufe fünf oder sechs und erwiesen sich damit in den Naturwissenschaften als leistungsstark (vgl. Tabelle I.5.10 OECD, 2014, S. 249). „Auf diesen Kompetenzstufen können Schüler naturwissenschaftliches Wissen und Wissen über Naturwissenschaften in einer Vielzahl komplexer Lebenssituationen identifizieren, erklären und anwenden“ (Bloem, 2012, S. 4). Insgesamt schnitten Jungen und Mädchen in Naturwissenschaften mit durchschnittlich 524 Punkten gleich gut ab (vgl. Tabelle I.5.12¹ OECD, 2014). Ähnliche Ergebnisse lieferte auch die PISA-Studie 2015. Hier erreichten rund 20% der Schülerinnen und Schüler im OECD-Raum die Kompetenzstufe 2 in den Naturwissenschaften nicht; etwa 8% der Schülerinnen und Schüler erfüllten die Anforderungen der Kompetenzstufen 5 oder 6 (vgl. OECD, 2016, S. 4).

Die **TIMSS Studie** hat das physikalische Verständnis von Schülern untersucht. Deutschland nahm im Jahr 1995 zuletzt an einer Mittel- und Oberstufenuntersuchung teil. Hier zeigten sich ähnliche Ergebnisse wie bei der PISA-Studie. Als Vergleichsländer wurden Österreich, die Schweiz, Frankreich und Schweden herangezogen. Die Aufgabenanalysen zeigen zwei Besonderheiten des Leistungsprofils der deutschen Schüler: „Die deutschen Abiturienten tun sich besonders schwer mit Aufgaben, die die Überwindung typischer Fehlvorstellungen verlangen oder besondere konzeptuelle Kenntnisse voraussetzen. Vergleichsweise erfolgreich sind sie hingegen bei offenen Aufgabenformaten. [...] Im Vergleich zu einzelnen Referenzländern lässt sich auch bei weiteren Anforderungsmerkmalen, die mit

¹abrufbar unter <http://dx.doi.org/10.1787/888932935629>

2. Lösen von Physikaufgaben

einem qualitativen Verständnis physikalischer Konzepte und Symbole verknüpft sind, ein Leistungstief der deutschen Schüler feststellen. Die (relative) Stärke der deutschen Oberstufenschüler liegt dagegen im formal-quantitativen Umgang mit Physik.“ (Baumert und Bos, 2000, S. 175)

Auch die **Normierungsstudie Naturwissenschaften 2011** für die Bildungsstandards hat gezeigt, dass sich die damaligen Befunde in den letzten Jahren nicht grundlegend verändert haben (Kampa, 2013, S. 49). Untersucht wurden Schüler des neunten und zehnten Schuljahrgangs. Was den Umgang mit Fachwissen betrifft, erreichen 8,8% der Schüler der neunten Jahrgangsstufe den im Rahmen der Bildungsstandards gesetzten Mindeststandard nicht. Den Regelstandard erreichen in dieser Jahrgangsstufe 69,1% der Schüler. Allerdings befinden sich auch 9% der Schüler auf der höchsten Kompetenzstufe und übertreffen damit die in dem Regelstandard formulierten Anforderungen deutlich. In der zehnten Jahrgangsstufe ist die Leistungsverteilung nach oben verschoben. Hier erreichen 6,3% der Schüler den Regelstandard nicht, 77% der Schüler erreicht den Regelstandard und 11,2% der Schüler befinden sich auf der höchsten Kompetenzstufe (vgl. Kampa, 2013, S. 50 f.). Ein ganz ähnliches Bild zeigt sich auch im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung (vgl. Kampa, 2013, S. 50 f.).

Merzyn (2008, S. 82) fasst die **Problemfelder der Schüler** beim Lösen von Physikaufgaben wie folgt zusammen: Gebrauch der Mathematik, Modellbildungen in der Physik, physikalische Fachsprache, Aussagen, die der Alltagserfahrung widersprechen, die Abstraktheit und Unanschaulichkeit sowie die physikalischen Gesetzmäßigkeiten. Fruböse (2010, S. 390) sowie Bennung und Leisen (2003) geben als Ursachen für die Probleme der Schüler die unterschiedlichen Abstraktionsebenen an, zwischen denen sich die Schüler beim Lösen hin und her bewegen müssen.

Die Analyse der folgenden **typischen Physikaufgabe** zum Thema gleichförmige Bewegung macht dies deutlich:

Ein Läufer legt 150 Meter in 15 Sekunden zurück. Bestimme seine Durchschnittsgeschwindigkeit.

Der einführende Satz in diesem Beispiel beschreibt eine alltägliche Erfahrung. Er ist im Wesentlichen in der *Alltagssprache* abgefasst. Der zweite Satz enthält die