

1 Einleitung

Physikalische Lehr- und Lernsituationen und -materialien weisen eine fachtypische Vielfalt an Darstellungen auf. Neben langen Texten mit fettgedruckten Fachbegriffen und farbig markierten Merksätzen lassen sich Fotografien von Alltagsgegenständen und physikalischem Experimentiermaterial in den Unterrichtsmaterialien finden. Hinzu kommen Zeichnungen, die beispielsweise Schaltpläne oder Atommodelle zeigen. Außerdem treten häufig mathematische Darstellungen auf, wie Messwerttabellen, Diagramme und Formeln. Dieser Reichtum an verschiedenen Darstellungsformen ist nicht nur im Physikunterricht vorzufinden, sondern ist ein Kennzeichen der Fachdisziplin Physik:

«Science does not speak of the world in the language of words alone, and in many cases it simply *cannot* do so. The natural language of science is a synergistic integration of words, diagrams, pictures, graphs, maps, equations, tables, charts, and other forms of visual and mathematical expression.» (Lemke 1998b, S. 6)

Dies bedeutet wiederum, dass ein Zugang zu physikalischem Wissen und physikalischen Methoden, ein physikalisches Verständnis, nur über das Erlernen dieses Fachdiskurses möglich ist. Bestimmte Darstellungen, Aktivitäten und Geräte müssen beherrscht und aufeinander bezogen werden, um physikalische Zusammenhänge zu erfassen und zu verstehen. (vgl. Airey und Linder 2009, S. 28f.)

Daher wird bereits für die Sekundarstufe 1 gefordert, dass SchülerInnen mit diesen fachtypischen Darstellungen umgehen können (vgl. Kultusministerkonferenz 2004, S. 12ff.). So werden im Kompetenzbereich «Kommunikation» beispielsweise folgende hierarchisch aufsteigende Anforderungsbereiche beschrieben (vgl. Kultusministerkonferenz 2004, S. 14):

- I Die SchülerInnen arbeiten mit vorgegebenen Darstellungsformen.
- II Die SchülerInnen nutzen geeignete Darstellungsformen.
- III Die SchülerInnen wählen Darstellungsformen selbstständig aus und nutzen sie.

Neben der Interpretation und Konstruktion von physiktypischen Darstellungen ist es für Lernende insbesondere wichtig, verschiedene Darstellungen aufeinander zu beziehen, um verschiedene Facetten des repräsentierten Zusammenhangs zu erfassen. Diese Kompetenz wird zudem als notwendig für das Lernen mit multiplen Darstellungen erachtet, scheint

jedoch von vielen Lernenden als schwierig empfunden zu werden (vgl. Ainsworth 1999, S. 132).

Eine besondere Bedeutung wird außerdem den Formen der Mathematisierung zugesprochen. Als eine der wesentlichen Erkenntnismethoden in der Physik soll eine mathematische Modellbildung in einfacher Form bereits Eingang in den Physikunterricht der Sekundarstufe 1 finden (vgl. Kultusministerkonferenz 2004, S. 11). Physikalisches Fachwissen soll dazu auch Wissen über funktionale Zusammenhänge beinhalten (vgl. Kultusministerkonferenz 2004, S. 8). Diese bilden die Grundlage, um Beziehungen zwischen physikalischen Größen zu beschreiben.

Besondere Aufmerksamkeit erhält dieses Thema der Mathematisierung, weil es stets mit Schwierigkeiten bei Physiklernenden verbunden zu sein scheint. Ein wesentlicher Aspekt ist hierbei die Frage, inwiefern der Umgang mit mathematischen Darstellungen beim Lernen von Physik gestaltet und gefördert werden kann, um zu einem besseren physikalisch-mathematischen Verständnis bei Lernenden zu führen und ein geeignetes Bild der Wissenschaft Physik zu vermitteln. Wie oben bereits angedeutet, ist dies bereits für die Sekundarstufe 1 relevant.

Diese Arbeit widmet sich daher dem Umgang mit mathematischen Darstellungen funktionaler Zusammenhänge im Physikunterricht der Sekundarstufe 1 und fokussiert dabei auf das Zusammenspiel verschiedener Darstellungen. Es erscheint sinnvoll, einen verständnisbasierten Aufbau von physikalisch-mathematischen Kompetenzen frühzeitig zu beginnen und im Sinne des Spiralcurriculums über die Klassenstufen hinweg fortzuführen.

Darstellungen werden hierbei unter einer semiotischen Perspektive betrachtet. Das heißt, sie werden als Zeichen verstanden, die sich auf einen physikalischen Inhalt beziehen und von einer Person interpretiert bzw. konstruiert werden. Dabei wird berücksichtigt, wie die Person die Darstellung für sich selbst interpretiert. In diesem Sinne wird teilweise auch auf interne Repräsentationen eingegangen. Auf eine Darstellung kognitionspsychologischer Grundlagen, die zum Beispiel die Verarbeitung von verschiedenen Darstellungen betreffen, wird jedoch im Rahmen dieser Arbeit verzichtet. Hierzu sei zum Beispiel auf die *Cognitive Load Theory* von P. Chandler und Sweller (1991), die *Cognitive Theory of Multimedia Learning* von Mayer (2005) und das integrierte Modell des Text- und Bildverstehens von Schnotz (2005) verwiesen.

Da in dieser Arbeit die mathematischen Darstellungen in der Physik im Mittelpunkt stehen, wird im Folgenden die besondere Rolle der Mathematik in der Physik und im Physikunterricht zunächst überblicksartig beleuchtet. Anschließend werden die konkreten Forschungsziele und der Aufbau der Arbeit dargelegt.

1.1 Aspekte der Rolle der Mathematik im Physikunterricht

Die Mathematik ist für die Physik heutzutage als essentiell anzusehen. Sie ermöglicht es nicht nur, physikalische Phänomene und Konzepte zu beschreiben, sondern ebenso neue Erkenntnisse zu gewinnen und Vorhersagen zu treffen. Damit ist die Mathematik nicht nur als Werkzeug oder Sprache zu betrachten, sondern erhält eine wichtige Bedeutung in Bezug auf Modellierungs- und Erkenntnisgewinnungsprozesse.

Um das Zusammenspiel von Mathematik und Physik adäquat zu beschreiben, schlägt Galili (2018) vor, die Wissensdisziplinen jeweils in drei Strukturen aufzuteilen und deren Verbindungen zu betrachten. Es wird unterschieden zwischen dem Kern (*nucleus*), dem umgebenden Körper bzw. Rumpf (*body*) und dem Randbereich (*periphery*) einer Theorie bzw. eines Wissensgebiets (vgl. Galili 2018, S. 21). Die Kernaussagen und fundamentalen Prinzipien, auf die Mathematik und Physik jeweils basieren, sind als getrennt zu betrachten und in den zwei Kernen verortet (vgl. Abbildung 1.1). Der Kern der Physik umfasst ontologische Aussagen zur physikalischen Realität und zu physikalischen Konzepten sowie erkenntnistheoretische Prinzipien der Physik. Der Kern der Mathematik hingegen bezieht sich auf wohldefinierte Grundlagen von mathematischen Theorien, zum Beispiel auf axiomatische Systeme und beschreibt, wie daraus weiteres mathematisches Wissen abgeleitet werden kann. (vgl. Galili 2018, S. 22) Das Zusammenspiel von Mathematik und Physik lässt sich darin erkennen, dass sich die Körper der Wissensgebiete überlagern und sie sich Randbereiche teilen. So gibt es zum Beispiel mathematische Betrachtungen, die in Bezug zur Physik im Körper des Wissensgebietes angesiedelt sind, für die Mathematik allerdings einen Randbereich darstellen. Galili (2018, S. 23) nennt hier beispielsweise die Einheitenbetrachtung und -rechnung. Interessant sind die Wissens Elemente, die sich in der Überlagerung beider Körper befinden. Hier werden mathematische Strukturen und Verfahren verortet, die in beiden Disziplinen bedeutsam sind, die aber je nach mathematischer oder physikalischer Perspektive verschieden betrachtet werden. Sie zeigen auf, dass dieselben mathematischen Elemente und Strukturen in beiden Fachgebieten unterschiedlich behandelt werden. Dies betrifft zum Beispiel das Konzept der Ableitung. Während in der Physik durch das Ableiten neue physikalische Größen definiert werden, beschäftigt sich die Differentialrechnung in der Mathematik mit der Grenzwertbildung des Differenzenquotienten einer Funktion. (vgl. Galili 2018, S. 22) Für die Randgebiete beider Wissensgebiete beschreibt Galili (2018, S. 24) Bezüge zu anderen Disziplinen, wie zum Beispiel zur Informatik und den entsprechenden Fachdidaktiken. Außerdem werden hier mathematische Elemente verortet, die unabhängig von den jeweiligen theoretischen Grundlagen existieren und zum Beispiel die reine Rechenfähigkeit betreffen (vgl. Galili 2018, S. 24).

Diese Beschreibung des Zusammenspiels beider Wissensgebiete macht deutlich, dass die Mathematik nicht nur als Hilfsmittel für die Physik dient und die Physik nicht nur die