

Welche Rolle spielt der Mathematikunterricht bei der Begabtenförderung in Physik? – Mathematische Lernvoraussetzungen für die PhysikOlympiade

Mathematik und Begabtenförderung Physik

Wie schon 2012 zeigten auch die deutschen PISA-Ergebnisse 2015 einen „vergleichsweise geringen Anteil von Schülerinnen und Schülern auf den beiden oberen Kompetenzstufen“ (KMK, 2015, S. 3) in den Naturwissenschaften (OECD, 2016). Dies verdeutlicht die Bedeutung der Begabtenförderung, die das Potenzial leistungsstarker Jugendlicher für zukünftige Tätigkeiten insbesondere im natur- oder ingenieurwissenschaftlichen Bereich entwickeln soll. So ist beispielsweise die PhysikOlympiade ein Wettbewerb, der einerseits das Interesse für Physik wecken, andererseits speziell die leistungsstärksten Jugendlichen fördern möchte.

Die Rolle der Mathematik bzw. des Mathematikunterrichts für die Förderung naturwissenschaftlich begabter Jugendlicher ist bislang wenig erforscht, obwohl insbesondere für die Physik die Mathematik zu bedeutsam ist, als dass sie auf diese verzichten könnte (Krause, Struve und Witzke, 2017). Die Physikdidaktik unterscheidet verschiedene Aspekte der Mathematik in der Physik: So ist beispielsweise von der Mathematik als Sprache die Rede, da sie Mittel zur Verfügung stellt, um physikalische Prozesse zu beschreiben (z.B. Uhden, Karam, Pietrocola, Pospiech, 2012); das prominenteste Beispiel hierfür dürften die physikalischen Formeln sein. Auch nimmt Mathematik einen Werkzeug-Charakter ein, wenn Rechnungen durchgeführt werden, ohne den Bezug zur Physik zu berücksichtigen (z.B. Uhden, Pospiech, 2011), wie beispielsweise bei der Bestimmung eines Integrals oder der Berechnung von Zahlenwerten durch Einsetzen in eine Formel. Schließlich wird Mathematik auch als Modellgeberin genutzt, wenn physikalische Systeme idealisiert und mit mathematischen Strukturen beschrieben werden (z.B. Karam, 2014), wie das Beispiel des Lichtstrahl-Modells zeigt. Entsprechend der Anwendungsorientierung des Mathematikunterrichts (vgl. KMK, 2012) sollte dieser einen relevanten Beitrag zur Physik und damit den Physikunterricht sowie die Begabtenförderung in Physik leisten. Inwiefern letzteres der Fall ist, soll am Beispiel der PhysikOlympiade untersucht werden, dem deutschen Auswahlverfahren zur Internationalen PhysikOlympiade. Dieser vierstufige Wettbewerb richtet sich an Schülerinnen und Schüler ab Ende der Mittelstufe. In den ersten zwei Auswahlrunden bearbeiten sie zu Hause theoretische Aufgaben (in der zweiten Runde auch eine experimentelle), die dritte und vierte Runde findet

als Seminarwoche mit theoretischen und experimentellen Klausuren statt. Die jeweils besten Teilnehmenden qualifizieren sich für die nächste Runde, sodass von anfangs etwa 1000 Teilnehmenden zuletzt die fünf besten die deutsche Delegation für den internationalen Wettbewerb bilden.

Forschungsfragen

Im Folgenden sollen (erste) Antworten auf die Frage nach der Rolle der Mathematik in der PhysikOlympiade gegeben werden. Konkret soll untersucht werden: Welche mathematischen Anforderungen finden sich in der PhysikOlympiade? Und wie nehmen die Teilnehmenden der PhysikOlympiade die Mathematik im Wettbewerb wahr?

Mathematische Anforderungen in der PhysikOlympiade

Zunächst wurden die Musterlösungen aller theoretischen Aufgaben der PhysikOlympiaden 2013 bis 2016 daraufhin analysiert, welche mathematischen Anforderungen adressiert wurden. So entstand induktiv ein Kategoriensystem von Anforderungen. Um einen Abgleich mit Lehrplänen (Baden-Württemberg, Schleswig-Holstein, Sachsen, Hamburg) zu ermöglichen, wurden diese Anforderungen sehr feinkörnig erfasst. Bei der Analyse der 257 Teilaufgaben wurden 204 Anforderungen identifiziert; nur sieben Teilaufgaben konnten ohne Mathematik gelöst werden. Im Durchschnitt kamen bei jeder Teilaufgabe mehr als acht mathematische Anforderungen vor. Die Zweitkodierung von 33 der Teilaufgaben ergab eine zufriedenstellende Übereinstimmung von 96.6% ($\kappa=0.94$ nach Brennan und Prediger, 1981). Die Anforderungen ließen sich in vier Gruppen einteilen:

Sieben der Anforderungen können als *basale Anforderungen* gelten. Sie kommen in jedem Jahr und jeder Runde vor und adressieren vor allem den Umgang mit Formeln, z.B. Äquivalenzumformungen, Werte runden oder Umgang mit Einheiten. In den betrachteten Lehrplänen sind diese Inhalte explizit oder implizit in der Sekundarstufe I zu finden.

24 der Anforderungen kommen zwar jedes Jahr, jedoch *erst in höheren Runden* vor. Sie betreffen vor allem die Analysis, wie die Ableitung der Polynomfunktion, das bestimmte Integral von $1/x$ (beides ab der 2. Runde) oder die Kettenregel (ab der 3. Runde). Damit wird in höheren Runden auch Mathematik benötigt, die nicht allen Teilnehmenden notwendigerweise aus dem Schulunterricht zur Verfügung steht. So ist die Ableitung der Polynomfunktion frühestens im Doppeljahrgang 9/10, die Kettenregel in allen vier Bundesländern erst in der Oberstufe zu finden, während das bestimmte Integral von $1/x$ nur in einzelnen Bundesländern Pflichtinhalt

ist. Die Taylorentwicklung, die ab der zweiten Runde in der PhysikOlympiade vorkommt, wird in keinem Lehrplan adressiert.

147 der Anforderungen kommen nur sporadisch vor, wie die aus dem Gebiet der Wahrscheinlichkeitsrechnung, viele der Geometrie oder weitere aus der Analysis. Der Vergleich mit den Lehrplänen zeigt dabei ein diffuses Bild. Einige dieser Inhalte (z.B. Pfadregeln) sind Inhalt der Sekundarstufe I, andere (z.B. Berechnung von Extremstellen, Ableitung der Exponentialfunktion) erst Inhalt der Oberstufe. Wiederum andere Inhalte (z.B. Raumwinkel) werden gar nicht abgedeckt oder nicht in allen Bundesländern (z.B. Definitionslücken einmal in Klassenstufe 9 und einmal in der Oberstufe). Dass der Mathematikunterricht hier eine Vorbereitung liefert, kann also nur beschränkt angenommen werden.

Die verbleibenden 79 Anforderungen kommen zwar in jedem Jahr vor, jedoch variiert ihr Vorkommen in den Auswahlrunden. Auch hier ist eine Abdeckung durch die Lehrpläne nicht klar gegeben: Die Definition von sin, cos, tan im rechtwinkligen Dreieck ist überall in der Sekundarstufe I, das Skalarprodukt in der Oberstufe, Differentiale in keinem der Lehrpläne verortet.

Wahrnehmung der Mathematik durch die Teilnehmenden

Zur Erfassung der Wahrnehmung der Mathematik in der PhysikOlympiade wurden die Teilnehmenden der ersten und dritten Runde der PhysikOlympiade 2018 danach befragt, welchen Anteil die mathematischen bzw. sprachlichen Kenntnisse und Fertigkeiten ihrer Einschätzung nach ausmachen (Tabelle 1).

Tabelle 1. Beschreibung der Stichprobe und Wahrnehmung der Mathematik.

		Runde 1	Runde 3
N		171	48
m / w		113 / 58	43 / 5
Alter (in Jahren)		M=16.2, SD=1.1	M=17.0, SD=0.8
Anteil von ... Kenntnissen und Fertigkeiten (in Prozent)	mathematischen	M=52.9, SD=18.6	M=33.0, SD=10.2
	sprachlichen	M=15.7, SD=13.6	M=5.7, SD=3.7

Klar zu sehen ist, dass unabhängig von der Runde die Mathematik in der subjektiven Wahrnehmung der Teilnehmenden deutlich wichtiger ist als sprachliche Anteile. Dies unterstreicht die zentrale Rolle der Mathematik,

insbesondere da man annehmen könnte, dass die Sprache zum Verstehen der Aufgabe und der Verschriftlichung der Lösung ebenfalls wichtig ist.

Zusätzlich wurden mit den Teilnehmenden der dritten Runde leitfadengestützte Gruppeninterviews mit je 4-5 Teilnehmenden geführt. Erste Auswertungen der Interviews untermauern die Fragebogenergebnisse: Auch hier wird der Anteil der Mathematik als hoch eingeschätzt. Darüber hinaus scheint den Teilnehmenden die Problematik bewusst, nicht alle benötigten mathematischen Fertigkeiten zum Teilnahmezeitpunkt aus dem Unterricht zu kennen (z.B. YOER12: „Vektoren kann ich nur ganz grob“.)

Diskussion

Sowohl die inhaltliche Analyse der Musterlösungen als auch die subjektiven Einschätzungen der Teilnehmenden bestätigen, dass die Mathematik in der PhysikOlympiade einen hohen Anteil ausmacht und die Inhalte über den Schulunterricht hinausgehen. Unklar ist, wie sich die Wahrnehmung der Mathematik im Wettbewerb über die verschiedenen Runden hinweg entwickelt und welche Rolle die mathematische Leistungsfähigkeit für die Attribution von Erfolg und Misserfolg im Wettbewerb einnimmt. Diesen Fragen soll im Rahmen einer längsschnittlichen Beforschung der PhysikOlympiade 2018 nachgegangen werden.

Literatur

- Brennan, R. L. & Prediger, D. J. (1981). Coefficient Kappa: Some Uses, Misuses, and Alternatives. *Educational and Psychological Measurement*, 41 (3), 687–699.
- Karam, R. (2014). Framing the structural role of mathematics in physics lectures: A case study on electromagnetism. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 10 (1), 010119.
- Krause, E., Struve, H. & Witzke, I. (2017). Mathematik und Physik für den Schulunterricht gemeinsam denken - Ideen und Perspektiven für eine Zusammenarbeit. *Der Mathematikunterricht*, 63 (5), 3–11.
- KMK (2012). Bildungsstandards im Fach Mathematik für die Allgemeine Hochschulreife, Kultusministerkonferenz 18.10.2012.
- KMK (2015). Förderstrategie für leistungsstarke Schülerinnen und Schüler, Kultusministerkonferenz 11.06.2015.
- OECD (2016). PISA 2015 Ergebnisse (Band I): Exzellenz und Chancengerechtigkeit in der Bildung: W. Bertelsmann Verlag, Germany.
- Uhden, O., Karam, R., Pietrocola, M. & Pospiech, G. (2012). Modelling Mathematical Reasoning in Physics Education. *Science & Education*, 21(4), 485–506.
- Uhden, O. & Pospiech, G. (2011). Mathematics in Physics: Analysis of students' difficulties. *E-book proceedings of the ESERA conference*, 218-222.