

Alles nur Mathe? – Mathematik in den Aufgaben der PhysikOlympiade

Hintergrund

Der Auswahlwettbewerb für die Internationale PhysikOlympiade (IPhO), kurz PhysikOlympiade, ist ein mehrstufiger Schülerwettbewerb. Über vier Runden hinweg müssen die Teilnehmenden theoretische und experimentelle Aufgaben lösen. Die jeweils besten qualifizieren sich für die nächste Runde und so wird schließlich das Delegationsteam für den internationalen Wettbewerb ausgewählt (Petersen, 2010). Wie andere naturwissenschaftliche Schülerwettbewerbe soll die PhysikOlympiade zum einen das Interesse von Schülerinnen und Schülern an Physik wecken und ihre Motivation für Physik steigern, um so langfristig MINT-Nachwuchs zu gewinnen (Höffler, Bonin & Parchmann, 2017; Lengfelder & Heller, 2002). Dieses Ziel wird zumindest insofern erreicht, als erfolgreiche Teilnehmende überproportional häufig ein physiknahes Studium ergreifen (Lind & Friege, 2004). Zum anderen verfolgt die PhysikOlympiade auch das Ziel, besonders begabte Schülerinnen und Schüler zu identifizieren und zu fördern (insbesondere in den höheren Runden). Gemessen an den Ergebnissen der deutschen Teams bei der IPhO kann man durchaus davon sprechen, dass auch dieses Ziel erreicht wird (Petersen, 2010). Mit dem Fokus auf Begabtenförderung einher geht eine deutliche Zunahme der Komplexität der zu bearbeitenden Aufgaben in den Auswahlrunden, die durchaus Universitätsniveau erreichen.

Eine essenzielle Rolle in der Physik spielt die Mathematik, ganz unabhängig davon, ob man sich auf den Werkzeug-Charakter der Mathematik in Physik beschränkt (Trump & Borowski, 2013), den Fokus auf Mathematik als Sprache der Physik legt (Pospiech, Eylon, Bagnó, Lehavi & Geyer, 2015) oder Mathematik als Teil der Physik ansehen mag (Arnold, 2014). Daher ist davon auszugehen, dass auch Teilnehmende der PhysikOlympiade mit mathematischen Anforderungen konfrontiert werden. Welche Rolle die Mathematik in der PhysikOlympiade spielt und inwieweit sich Physik-interessierte bzw. Physik-begabte Schülerinnen und Schüler mit anspruchsvoller Mathematik auseinandersetzen müssen, steht daher im Fokus des vorliegenden Beitrags. Konkret soll die Frage untersucht werden, welche Mathematikkenntnisse für die PhysikOlympiade benötigt werden. Auf diesen Ergebnissen aufbauend soll dann im Rahmen des WinnerS-Projekts untersucht werden, wie die Teilnehmenden der PhysikOlympiade ihr Abschneiden im Wettbewerb auf mathematische bzw. physikalische Anforderungen bzw. Leistungen zurückführen und inwiefern diese Einschätzung davon abhängt, ob die Teilnehmenden über die benötigten Mathematikkenntnisse verfügen oder nicht.

Methode

Zur Beantwortung der Frage nach den benötigten Mathematikkenntnissen in der Physikolympiade wurden die Musterlösungen der theoretischen Aufgaben aller vier Runden der Jahre 2013 bis 2016 analysiert und ein induktives Kategoriensystem zur Beschreibung der vorkommenden Mathematikinhalte gebildet. Insgesamt umfasste die Analyse 257 Teilaufgaben (vgl. Tabelle 1).

	2013	2014	2015	2016	Summe
1. Runde	6	5	4	5	20
2. Runde	9	16	11	11	47
3. Runde	30	26	19	24	99
4. Runde	23	23	17	28	91
Summe	68	70	51	68	257

Tab. 1: Übersicht über die Teilaufgaben in der PhysikOlympiade.

Erste Ergebnisse

Es wurden insgesamt 204 Kategorien identifiziert. Diese reichten von grundlegenden mathematischen Inhalten der Sekundarstufe I (z. B. Anteile in Prozent angeben) bis hin zu Inhalten, die üblicherweise Inhalt von Anfängervorlesungen an der Universität sind (z. B. Kurvenintegral). Von 257 untersuchten Teilaufgaben waren nur sieben vollständig ohne Mathematik lösbar (z. B. Ausfüllen eines Kreuzworträtsels). Im Durchschnitt wurden in jeder Teilaufgabe Mathematikinhalte aus mehr als acht Kategorien angesprochen. Allerdings variierten die Kategorien in ihrem Vorkommen, so dass sich die folgende Einteilung vornehmen ließ.

Grundanforderungen

Sieben Kategorien kamen in jedem Jahr und jeder Runde vor. Diese mathematischen Inhalte stellen „Grundanforderungen“ dar und umfassen überwiegend Kategorien, die mit der Manipulation von Formeln im Zusammenhang stehen (z. B. Äquivalenzumformungen, Gleichsetzen von Termen) oder dem Berechnen expliziter Werte, beispielsweise Runden oder Umgang mit Einheiten.

Mit den Auswahlrunden steigende Anforderungen

Von den 50 Kategorien, die in jedem Jahr vorkamen, traten 24 immer erst in höheren Runden auf. Darunter befinden sich v. a. Kategorien aus der Analysis, die in der Schule erst in der Oberstufe oder gar nicht behandelt werden, wie z. B. Integration von Polynomfunktionen oder von $f(x) = 1/x$, die Taylorentwicklung (jeweils ab der zweiten Runde) oder die Kettenregel (ab der dritten Runde). Weitere Inhalte, die erst in den höheren Runden vorkommen, umfassen beispielsweise die Logarithmus-Gesetze, Rechenregeln für \sin und \cos (ab der zweiten Runde) und das Lösen linearer Gleichungssysteme mit drei Variablen (ab der dritten Runde). Komplexe Zahlen, die ebenfalls nicht Standardinhalt von schulischen Mathematiklehrplänen sind, werden ebenfalls jährlich ab der zweiten Runde angesprochen (zumindest, wenn man in diesem Bereich nicht weiter differenziert).

Unterschiede zwischen den PhysikOlympiaden verschiedener Jahre

Weitere 148 Kategorien kamen nur in einigen Jahren vor, darunter viele aus dem Bereich der Geometrie, wie die Berechnung von Flächeninhalten verschiedener Figuren, geometrische Konstruktionen oder Raumwinkel. Auch alle Kategorien der Wahrscheinlichkeitsrechnung, beispielsweise die Pfadregeln oder Berechnung des Erwartungswerts, fallen in diese Gruppe, ebenso wie die Umkehrfunktionen der Sinus- oder Cosinus-Funktion, das Lösen von Differentialgleichungen oder die Bestimmung von Grenzwerten. Gerade die Bestimmung von Grenzwerten trat dabei auf verschiedenen Anforderungsniveaus auf: In einigen Aufgaben reichte eine rein physikalische Argumentation aus, in anderen war eine formale Grenzwertbestimmung mit der Bernoulli- l 'Hospitalschen Regel nötig.

Die verbleibenden Kategorien kamen zwar in jedem Jahr vor, allerdings variierte ihr Vorkommen innerhalb der Runden. Beispiele für diese letzte Gruppe sind das Volumen

einer Kugel, Flächeninhalt eines Kreises, Potenzgesetze, Skalarprodukt oder die trigonometrischen Funktionen am rechtwinkligen Dreieck.

Beispielhaft sind in Abb. 1 für einige Kategorien die relativen Häufigkeiten ihres Vorkommens dargestellt¹. Man erkennt die Unterschiede im Vorkommen sowohl über die Jahre als auch über die Runden, die zur oben dargestellten Einteilung der Kategorien geführt hat.

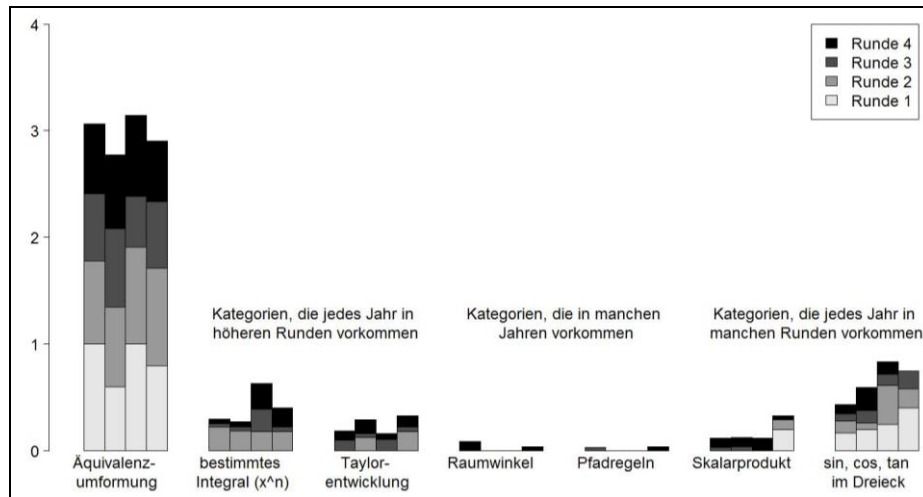


Abb. 1: Darstellung der relativen Häufigkeiten einiger Kategorien – jede Säule in einer Kategorie entspricht einem Jahr (v.l.n.r. 2013 bis 2016), jede Graustufe einer Runde.

Fazit und Ausblick

Die Aufgabenanalyse zeigt, dass Mathematik in der PhysikOlympiade unverzichtbar ist. Während in der ersten Runde noch ein Manipulieren von Formeln ausreicht, wie es vermutlich von Aufgaben aus dem Physik- und Mathematikunterricht bekannt ist, werden in den höheren Runden auch mathematische Inhalte benötigt, die erst gegen Ende der Schulzeit unterrichtet werden oder sogar erst Inhalt der Hochschule sind.

Die Tatsache, dass in den Musterlösungen bestimmte mathematische Inhalte verwendet werden, bedeutet nicht notwendigerweise, dass die Wettbewerbsteilnehmenden diese Kenntnisse auch besitzen. Daher soll im Rahmen des WinnerS-Projekts (**Wirkungen naturwissenschaftlicher Schülerwettbewerbe**) unter anderem erhoben werden, (a) welche der zentralen mathematischen Kenntnisse die Teilnehmenden der aktuellen PhysikOlympiade besitzen, (b) wie sie die Rolle der Mathematik in der PhysikOlympiade wahrnehmen und (c) wie sie ihr Abschneiden im Wettbewerb auf Mathematik und Physik zurückführen, in Abhängigkeit von ihren mathematischen Kenntnissen. Bisher standen mögliche negative Auswirkungen auf affektive Merkmale von Teilnehmenden, die früh aus dem Wettbewerb ausscheiden, nicht im Fokus der Wettbewerbsforschung. Diese Arbeit kann damit auch einen Beitrag für die Untersuchung leisten, inwiefern das Ziel der PhysikOlympiade, Schülerinnen und Schüler für Physik zu motivieren, erreicht werden kann.

¹ Die relative Häufigkeit bezieht sich jeweils auf die einzelnen Runden; somit hätte eine Kategorie, die in jeder Teilaufgabe verwendet wäre, in jeder Runde die relative Häufigkeit 1 und würde daher den Maximalwert 4 annehmen.

Literatur

- Petersen, S. (2010). Oberflächen- und Tiefenmerkmale von Aufgaben in der Internationalen PhysikOlympiade: Projekte zur systematischen Analyse und Entwicklung von Aufgaben in dem Wettbewerb. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung 2010*. Retrieved from <http://phydid.physik.fu-berlin.de/index.php/phydid-b/article/view/195>
- Höffler, T. N., Bonin, V., & Parchmann, I. (2017). Science vs. Sports: Motivation and Self-concepts of Participants in Different School Competitions. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15(5), 817-836. <https://doi.org/10.1007/s10763-016-9717-y>
- Trump, S., & Borowski, A. (2013). Die Anwendung von Mathematik in Physik. In G. Greefrath, F. Käpnick, & M. Stein (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2013* (S. 1014-1017). Münster: WTM-Verlag.
- Pospiech, G., Eylon, B., Bagno, E., Lehavi, Y., & Geyer, M.-A. (2015). The role of mathematics for physics teaching and understanding. *Nuovo Cimento C Geophysics Space Physics C*, 38. <https://doi.org/10.1393/ncc/i2015-15110-6>
- Lind, G., & Friege, G. (2004). The personality of a successful PhO-participant: an investigation among former participants of the German Physics Olympiad. *Physics Competitions*, 6(1), 81–89.
- Lengfelder, A., & Heller, K. A. (2002). German Olympiad Studies: Findings from a Retrospective Evaluation and from In-Depth Interviews: Where have all the Gifted Females Gone? *Journal of Research in Education*, 12(1), 86–92.
- Arnold, V. I. (2014). On Teaching Mathematics. *Resonance*, 851–861.
- IPhO Syllabus. (2015). Retrieved from <http://www.ipho.org/syllabus.html>