

Erfassung physikalischer Problemlösefähigkeiten

Eine für das 21. Jahrhundert identifizierte Kernfähigkeit ist das Problemlösen (Csapó & Funke, 2017). Eine Domäne in welcher Problemlösefähigkeiten im Zentrum stehen, ist die Physikausbildung. Befragungen von Absolventinnen und Absolventen der Physik bestätigen, dass das physikalische Problemlösen eine der am häufigsten verwendeten Fähigkeiten in physikalischen Berufen darstellt (American Institute of Physics, 1997; Pold & Mulvey, 2016). Entsprechend hat das Lösen physikalischer Probleme einen signifikanten Anteil in der Ausbildung von Physikerinnen und Physikern. Dies passiert beispielsweise in Tests, experimentellen Aufgaben und Klausuren in der Schule oder Universität, die in der Regel von physikalischen Problemen geprägt sind (Hsu, Brewe, Foster, & Harper, 2004). Diese Art physikalischer Probleme zeichnet sich durch eine klare Struktur mit in der Regel wohldefinierten Anfangs- und Zielzuständen aus. Bei dem Problemlösen geht es darum, mit Hilfe von Operatoren im Lösungsraum von dem Anfangszustand zu einem Zielzustand zu gelangen. Ein typisches Ablaufschema für den Problemlöseprozess zeigt Abb. 1. Zunächst erfolgt die Identifikation und Beschreibung des Problems. Anschließend wird eine Lösestrategie entwickelt und diese durchgeführt. Abschließend findet die Evaluation der eigenen Lösung statt.

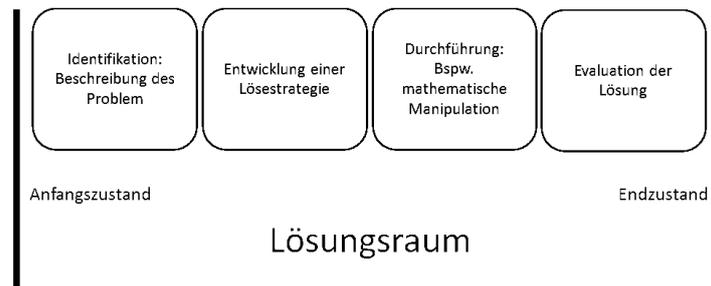


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Löseprozesses beim physikalischen Problemlösen (Bransford & Stein, 1984; Polya, 1945).

Ein geeignetes Mittel, um physikalische Problemlösefähigkeiten zu erfassen, ist es Unterschiede von Experten und Novizen im physikalischen Problemlösen herauszuarbeiten. Studien zu physikalischem Problemlösen geben detailliert Aufschluss über Differenzen dieser beiden Gruppen. Insgesamt zeichnen sich Experten dadurch aus, dass sie geeignete Lösestrategien zur Lösung von Problemen verwenden (Bransford, Sherwood, Vye, & Rieser, 1986). So zum Beispiel gehen Experten eher von der Ausgangssituation aus und arbeiten sich dann zum Zielzustand vor. Experten analysieren Probleme eher qualitativ und entwickeln eine Lösestrategie, bevor sie die eigentlichen Operatoren anwenden. Weiterhin ist das Wissen von Experten, im Gegensatz zu Novizen, hierarchisch organisiert. Beispielsweise konnte gezeigt werden, dass Experten physikalische Probleme nach den zugrundeliegenden physikalischen Prinzipien strukturieren, wohingegen Novizen Oberflächenmerkmale zur Klassifikation heranziehen (Chi, M. T. H., Feltovich, & Glaser, 1981). Weiterhin besitzen Experten sog. Löseschemata für bestimmte physikalische Probleme anhand welcher sie komplexe Probleme reduzieren und schnell lösen (vgl.

Reinhold, Lind, & Friege, 1999). Diese Differenzen zwischen Experten und Novizen müssen in der Erfassung physikalischer Problemlösefähigkeiten zur Geltung kommen. Leonard, Dufresne, and Mestre (1996) konnten durch das Abfragen von Lösestrategien vor dem eigentlichen physikalischen Problemlösen expertenhaftes Problemlösen identifizieren. Mit Lösestrategien meinen die Autoren die zentralen Prinzipien zur Lösung des Problems, eine Rechtfertigung dieser Prinzipien, sowie eine Darstellung des Ablaufs zur Lösung des Problems. Docktor (2009) entwickelte ein Bewertungsschema für expertenhaftes Problemlösen, womit sie die Bearbeitungen von typischen physikalischen Problemen analysieren konnte. Aufbauend auf diesen Vorarbeiten sind wir bestrebt einen physikalischen Problemlösetest zu entwickeln, der insbesondere im Bereich hochleistender Schülerinnen und Schüler in der Sekundarstufe Varianz erzeugt. In der vorliegenden Studie wird die Pilotierung eines solchen Instruments vorgestellt, welches im Rahmen des Auswahlwettbewerbes zur Internationalen PhysikOlympiade eingesetzt werden soll, um Exzellenz im Bereich Physik vorherzusagen.

Entwicklung des Erhebungsinstrumentes

Zur Erfassung physikalischer Problemlösefähigkeit sind konzeptionell die Erfassung von Lösestrategien sowie die Erfassung von relevantem Fachwissen von Bedeutung (etwa: Hestenes, 1987). Letzteres ist wichtig, um zu identifizieren, ob die Probanden prinzipiell in der Lage wären, das Problem zu lösen. Analog zu den Arbeiten von Leonard et al. (1996) wurde für die Erfassung der Lösestrategien ein offenes Aufgabenformat gewählt. Abb. 2 zeigt ein Beispielproblem. Insgesamt wurden insbesondere die Newtonschen Gesetze sowie der Energieerhaltungssatz fokussiert, die im Zentrum mechanischen Wissens stehen (Reif & Heller, 1982).

Aufgabentext: Eine punktförmige Masse durchläuft reibungsfrei eine Bahn mit einem Looping (siehe Abbildung). Die Masse startet dabei aus einer Höhe h über dem höchsten Punkt des Loopings. Bestimme die minimale Starthöhe, die notwendig ist, sodass die Masse beim Durchlaufen des Loopings nicht nach unten fällt.

Beschreibe nachvollziehbar, wie du bei der Lösung dieser Aufgabe vorgehen und welche physikalischen Prinzipien du dabei verwenden würdest.

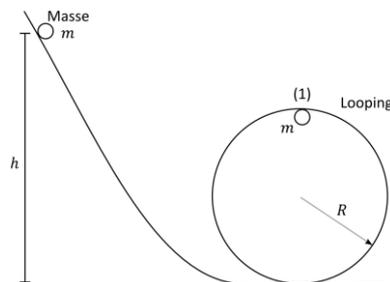


Abb. 2: Beispielproblem zur Erfassung physikalischer Problemlösefähigkeit.

Der Prompt (in Abb. 2 in fett gedruckt) veranlasst die Probanden ihre Vorgehensweise sowie die für sie als relevant erachteten physikalischen Prinzipien zu notieren. Was unter physikalischen Prinzipien und der Vorgehensbeschreibung zu verstehen ist, wird den Probanden in einer Einleitung an einem Beispiel verdeutlicht. Der Test besteht insgesamt aus vier offenen Aufgabenstellungen in diesem Format. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Pilotierung dieses Tests mit $N=29$ Schülerinnen und Schüler aus gymnasialen Physik-Oberstufenkursen berichtet. Die mittlere Bearbeitungszeit dieser vier offenen Aufgaben betrug ca. 15 Minuten. Die Auswertung der Schülertexte wurde mittels Constant Comparative Analysis (Corbin & Strauss, 1990) durchgeführt.

Ergebnisse der Pilotierung

Die Auswertung der Bearbeitungen ergab das Kategoriensystem wie es in Abb. 3 dargestellt ist. Hierbei sind die jeweiligen Kategorien in Ellipsenform dargestellt. Die Anordnung in dem Ablaufschema für physikalisches Problemlösen entspricht der Stellung der jeweiligen

Kategorie in diesem Gefüge. Beispielantworten für die jeweiligen Kategorien finden sich in Tab. 1.

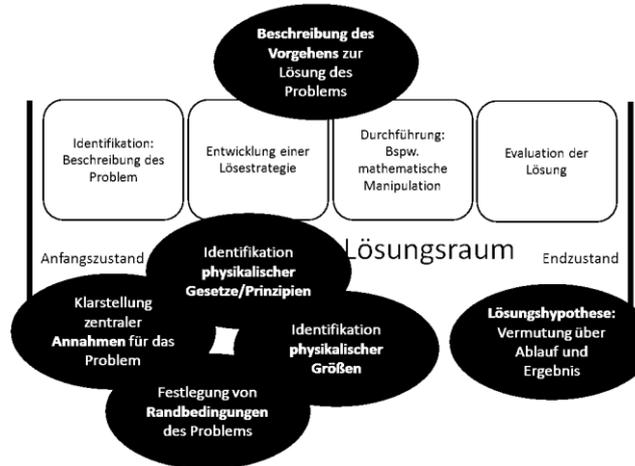


Abb. 3: Abgeleitete Kategoriensystem aus den Antworten (Ellipsen).

Tab. 1: Abgeleitete Kategorien mit Häufigkeiten sowie einer Beispielantwort.

Kategorie	Beispielantwort
Lösungshypothese: 14x	„Der Startpunkt müsste auf jeden Fall höher als der Looping sein.“
Randbedingungen: 16x	„Damit die Masse die Laufbahn durchlaufen kann, darf die kinetische Energie oben im Looping nicht null sein.“
Annahmen: 5x	„Es handelt sich um einen Massenpunkt.“
Physikalische Gesetze: 49x	„Wenn der Ball ins Rollen kommt, wandelt sich die potentielle Energie in kinetische und Rotationsenergie um.“
Physikalische Größen: 7x	„Dabei muss die Masse der Kugel beachtet werden.“
Beschreibung des Vorgehens: 34x	„Anschließend formt man nach h um und hat somit die Höhe.“

Diskussion

In dieser Arbeit wurde die Pilotierung eines Tests zur Erfassung der physikalischen Problemlösefähigkeit berichtet. Die Auswertung der Antworten ergibt, dass insbesondere physikalische Gesetze sehr häufig in den Texten auftauchen. Ebenso auffällig ist, dass nur sehr wenige Probanden die physikalischen Annahmen explizit in ihrer Darstellung erwähnen. In der Haupterhebung werden genau solche Differenzen von Bedeutung für die Klassifikation von Experten und Novizen sein (Hardiman, Dufresne, & Mestre, 1989). Festzustellen ist insgesamt, dass alle Aussagen der Probanden im Kategoriensystem erfasst werden können. Allerdings sind die Kategorien nicht immer trennscharf, was für Auswerteverfahren wie die Inhaltsanalysen gefordert wird. Der entwickelte Test wird nun im Rahmen eines Projektes (WinnerS) eingesetzt, in welchem Erfolg im Auswahlwettbewerb zur Internationalen PhysikOlympiade vorhergesagt werden soll.

Literatur

- American Institute of Physics. (1997). *1996 Initial Employment Follow-up of 1995 Physics Degree Recipients*. AIP Pub No. R-282.19. College Park: Author.
- Bransford, J., Sherwood, R., Vye, N., & Rieser, J. (1986). Teaching Thinking and Problem Solving: Research Foundations. *American Psychologist*, *41*, 1078–1089.
- Bransford, J., & Stein, B. S. (1984). *The ideal problem solver: A guide for improving thinking, learning, and creativity*. New York: W. H. Freeman and Company.
- Chi, M. T. H., Feltovich, P. J., & Glaser, R. (1981). Categorization and Representation of Physics Problems by Experts and Novices. *Cognitive Science*, *5*, 121–152.
- Corbin, J., & Strauss, A. (1990). *Basics of Qualitative Research: Grounded Theory Procedures and Techniques*: SAGE Publications.
- Csapó, B., & Funke, J. (2017). The development and assessment of problem solving in 21st-century schools. In B. Csapó & J. Funke (Eds.), *The nature of problem solving. Using research to inspire 21st century learning* (pp. 19–31). Paris: OECD Publishing.
- Docktor, J. L. (2009). *Development and Validation of a Physics Problem-Solving Assessment Rubric* (Ph.D. thesis), University of Minnesota.
- Hardiman, P. T., Dufresne, R. J., & Mestre, J. P. (1989). The relation between problem categorization and problem solving among experts and novices. *Memory & Cognition*, *17*(5), 627–638.
- Hestenes, D. (1987). Toward a modeling theory of physics instruction. *American Journal of Physics*, *55*(5), 440–454.
- Hsu, L., Brewster, E., Foster, T. M., & Harper, K. A. (2004). Resource Letter RPS-1: Research in problem solving. *American Journal of Physics*, *72*(9), 1147–1156. doi:10.1119/1.1763175
- Leonard, W. J., Dufresne, R. J., & Mestre, J. P. (1996). Using qualitative problem-solving strategies to highlight the role of conceptual knowledge in solving problems. *American Journal of Physics*, *64*(12), 1495–1503. doi:10.1119/1.18409
- Pold, J. & Mulvey, P. (2016). Physics Doctorates: Skills Used & Satisfaction with Employment. Data from the degree recipient follow.
- Polya, G. (1945). *How to solve it*. New York: Princeton University Press.
- Reif, F., & Heller, J. I. (1982). Knowledge structure and problem solving in physics. *Educational Psychologist*, *17*(2), 102–127. doi:10.1080/00461528209529248
- Reinhold, P., Lind, G., & Friege, G. (1999). Wissenszentriertes Problemlösen in Physik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *5*(1), 41–62.