

Ressourcen zur Problemlösung: Problemschemata

Einleitung

Mit Sternberg (1995) können Forschungsarbeiten zum Problemlösen grob in zwei Richtungen unterteilt werden. Die „europäische“ Richtung interessiert sich vor allem für „komplexe“ Probleme, die ihren Reiz aus der vernetzten Dynamik der Problemsituationen beziehen. Die „amerikanische“ Richtung, die sog. Expertiseforschung, interessiert sich stärker für stark an eine Domäne gekoppelte, „wissenszentrierte“ Probleme (Friege, 2001), für die Kenntnis und Routine in ebendieser Domäne erforderlich sind.

Im Forschungsprojekt KEMΦ (Woitkowski, 2018) wird u. a. die Problemlösefähigkeit von Studienanfängern der Physik untersucht. Hier erscheint die Situation des Lösen von Übungszettel als zentrale Herausforderung aber auch Lerngelegenheit im Physikstudium. Die dort präsentierten Aufgaben können als wissenszentrierte Probleme z. B. in der Definition von Smith (1991) aufgefasst werden, da ihre Lösung die Kenntnis der Domäne erfordert und nicht durch einfache Reproduktion möglich ist. Eine Unterscheidung zwischen „Problemen“ und „Aufgaben“ wie in älteren Arbeiten sieht Smith nicht vor. Diese wäre hier auch kaum sinnvoll, da dieselben Aufgabenstellungen, die Studierende ernsthaft herausfordern, für Dozenten mitunter nur „Fingerübungen“ sein können.

Problemschemata

Die Expertiseforschung hat bereits seit den 70er Jahren vielfältige Experten-Novizen-Vergleiche angestellt, die Auskunft über die effektive und routinierte Lösung solcher wissenszentrierter Probleme in der Physik geben. So suchen Novizen oft unstrukturiert Einzel-fakten zusammen (Schultz & Lochhead, 1991), während Experten häufig einen *intuitiven* Zugang zur Lösung finden (Larkin, 1983), bei dem die Phasen der Problemrepräsentation und des Finden eines Ansatzes schnell aufeinanderfolgen oder sogar zusammenfallen (Simon & Simon, 1978). Novizen nutzen eher Plug-and-Chuck verfahren, Experten gehen den Weg über kaskadierende, schrittweise verfeinerte und angepasste Modelle (Nersessian, 1995; Wilcox et al., 2013). In Sortieraufgaben betonen Novizen Oberflächenstrukturen (welche Objekte kommen in der Aufgabe vor) während Experten Tiefenstrukturen (welcher Mechanismus liegt dem Problem zugrunde) heranziehen (Chi et al., 1982).

Diese Befunde, insbesondere die Routine des Experten, führen Reinhold, Friege und Lind (1999) auf eine kognitive Ressource namens Problemschemata zurück, die neben dem vernetzten und hierarchisierten Fachwissen zur Problemlösung herangezogen werden (Abb. 1). Brandenburger (2016) leitet diesen Begriff von einem allgemeinen psychologischen Schemabegriff her: Es handelt sich also um eine Vereinfachung des konkreten Problems, die Abstraktion von Oberflächenmerkmalen und die Betonung der Tiefenstruktur des Problems. Um funktional bei der Problemlösung, konkret beim Finden eines Lösungsansatzes, nützlich zu sein, müssen Problemschemata aus mindestens zwei Komponenten bestehen: Einerseits aus einem hinreichend konkreten Lösungsansatz, der vom Problemlöser effizient abgerufen werden kann. Es ist plausibel anzunehmen, dass es sich hier um weiter prozeduralisiertes Wissen handelt. Andererseits ist auch eine Heuristik nötig, die Auskunft darüber gibt, bei welchen Problemen ebendieser Lösungsansatz nutzbar ist und bei welchen nicht. Dieser kann am ehesten als ein Repertoire an Problemklassen gedacht werden, die jeweils eine Gruppe funktional ähnlicher und mit ähnlichem Ansatz lösbarer Problemlösungen besteht. Eine Nutzung der Heuristik kann dann als Einordnung des vorliegenden Problems in die vorliegenden Klassen gesehen werden. Dieser Prozess basiert als Ressource also auf einer großen Anzahl bekannter Beispielprobleme (Reinhold, Lind & Friege, 1999).

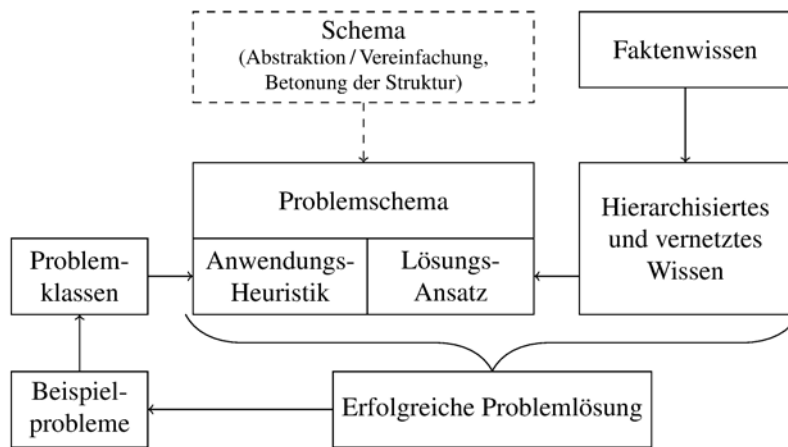


Abb. 1: Genese von Problemschemata (basierend auf Friege, 2001; Kolodner, 1983).

Empirische Hinweise

Im Rahmen der Erhebungen mit dem KEMΦ-Problemlösetest (Woitkowski, 2019) wurden Studierenden zu drei Testzeitpunkten im ersten Studienjahr „Übungs-Aufgaben“ zur Lösung vorgelegt. Im Folgenden wird aus anschließend geführten Interviews berichtet. Alle Exzerpte stammen vom 3. Testzeitpunkt. Die dort zu bearbeitenden Aufgaben sind mit einem Problemschema lösbar, bei dem zwei oder drei signifikante Punkte in einem Bewegungsablauf identifiziert werden und für diese Impuls- oder Energiegleichungen aufgestellt werden müssen. Diese Gleichungen müssen dann mithilfe der bekannten Erhaltungssätze so umgeformt werden, dass die Aufgabe gelöst wird. Der Verlauf zwischen den zu identifizierenden Punkten braucht für die Lösung hingegen nicht betrachtet werden. Die folgenden Beispiele illustrieren drei prototypische Ausprägungen dieses Schemas.

Proband 1: UHI30

I: Worum ging es auf dem Zettel insgesamt?

P: Ich würde sagen, Energie und Impulserhaltung und Stöße bzw. vollkommen inelastische Stöße.

I: Kannst du versuchen, einigermaßen genau zu beschreiben, worum es in den vier Aufgaben jeweils ging?

P: [Beschreibt die Aufgaben mit mäßiger Detailtiefe.]

I: Würdest du sagen, dass bei der Aufgabenlösung irgendetwas immer wieder vorkommt?

P: Also es kam eigentlich immer wieder vor, dass man eine Formel nach seiner gesuchten Variable umstellen musste und dann einfach sich nur im Klaren sein musste, welche Situation vorliegt, und die dann so für sich umstellen, dass man dann ... ok, ich habe die Sachen gegeben und das habe ich gesucht, und wenn dann noch weitere unbekannte Variablen waren, musste man sich überlegen, was ist noch Weiteres gegeben, was ich benutzen kann.

Der Proband beschreibt als einzige Gemeinsamkeit ein Plug-and-Chuck-Vorgehen. Ihm war es nicht möglich, dieses für eine eigenständige korrekte Lösung der Aufgaben zu nutzen. Insgesamt ist hier kein Element des fragten Problemschemas sichtbar.

Proband 2: NRD02

I: Worum ging es auf dem Zettel insgesamt?

P: Ja, also die Aufgaben waren eigentlich zum Thema Energieerhaltung und Impulserhal-

tung. Also mit den zwei Prinzipien konnte man eigentlich die ganzen, alle vier Aufgaben lösen, weil dann musste man noch ... [Nennt weitere relevante Wissensbestandteile.]

I: Kannst du versuchen, irgendwie noch genauer zu sagen ... Gibt es irgendwie ein gemeinsames Vorgehen bei der Lösung der Aufgaben oder so?

P: Ja, man musste sich immer angucken ... Also es ging ja um Bewegungen und man musste sich dann die Punkte raussuchen, an denen man eben Formeln für die Gesamtenergie oder den Gesamtimpuls aufstellen konnte. Das heißt, wenn diese Kugel durch den Looping rollt, hilft es nicht sich einen Punkt anzugucken, kurz nachdem ich sie losgelassen habe, sondern ich muss halt gucken, wann lasse ich sie los, also wann hat die Kugel noch keine kinetische Energie. Und dann der andere signifikante Punkt war dann, wo die Kugel eben oben im Looping ist, da kann ich dann auch wieder ... da habe ich dann auch wieder die Höhe gegeben, also die Höhenenergie, und ich kann, ich weiß, wie schnell muss sie denn sein, damit die Gewichtskraft ausgeglichen wird.

Dieser Proband expliziert das Schema bis in Details der Anwendung. Es gelingt ihm, es für die erfolgreiche Lösung aller vier Aufgaben zu nutzen und zeigt dabei deutliche Zeichen von Intuition. Hier sind also beide Komponenten des Problemschemas sichtbar.

Proband 3: NBR16

I: Worum ging es auf dem Zettel insgesamt?

P: Ja, ich glaube, also um die Konzepte glaube ich, ja. Ich glaube im ersten ging es auf jeden Fall um einen unelastischen Stoß. Es ging, glaube ich, um Güterwagens, ... [Beschreibt die vier Aufgaben in großer Detailtiefe.]

I: Würdest du sagen, dass ... also, waren die Aufgaben irgendwie unterschiedlich oder waren die alle gleich oder ...

P: Also ziemlich ähnlich war natürlich der unelastische Stoß von der Kugel, die den Holzblock getroffen hat, und den Güterwagens und das andere war der Looping und, ja, das hat nicht mehr ganz viel miteinander zu tun.

I: Wodrin besteht die Ähnlichkeit zwischen den Güterwagens und dem Holzblock?

P: Ja die Kugel, ich musste ja, um die Verformungsarbeit zu bestimmen, musste ich den ... Beim unelastischen Stoß, da bleibt ja der Impuls erhalten, aber nicht die Energie, also bzw. die geht halt in Verformungsenergie, dann habe ich damit die Verformungsenergie bestimmt und da war schon so eine gewisse Parallele dann.

Dieser Proband kann zwar den Lösungsansatz bei zwei Aufgaben erfolgreich anwenden, erkennt aber nicht, dass auch die anderen beiden Aufgaben so ähnlich lösbar sind. Auf Nachfrage nennt er als weitere Ähnlichkeit ein Plug-and-Chuck-Verfahren ähnlich wie UHI30. Die Heuristik scheint hier also nicht weit genug ausgereift zu sein, um bei allen gestellten Aufgaben zu greifen.

Zusammenfassung

Im gegenwärtigen Datensatz von 11 Probanden zeigt etwa die Hälfte keine Anzeichen für die Verfügbarkeit von Problemschemata, ein weiteres Viertel beherrscht die Ansätze ohne voll ausgebildete Heuristik, lediglich ein Viertel zeigt ein vollständiges Problemschema.

Es stellt sich damit die Frage, warum nach dem ersten Studienjahr dieses (für die Mechanik eigentlich grundlegende) Schema so häufig noch nicht sicher beherrscht wird, zumal sich für die Schemata der anderen Testzeitpunkte ähnliche Befunde zeigen. In Lehrveranstaltungen (wie den universitären Übungen, aus denen ja auch die eingesetzten Probleme entnommen sind) scheinen diese Schemata nicht ausreichend entwickelt zu werden.

Aktuell wird in Paderborn eine Veränderung der Studieneingangsphase angebahnt (Bauer et al., 2019), bei der in Präsenzübungen, die Charakteristika relevanter Lösungsansätze und Kriterien für deren Anwendbarkeit deutlicher thematisiert werden sollen. Mit dem auch hier genutzten Testinstrument kann der Erfolg dieser Intervention überprüft werden.

Literatur

- Bauer, A., Lahme, S., Woitkowski, D., Vogelsang, C., Reinhold, P. (2019). Die Paderborner Studiengangphase Physik. Ein multiperspektivisches Entwicklungs- und Forschungsprogramm. *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Aachen*.
- Brandenburger, M. (2016). *Was beeinflusst den Erfolg beim Problemlösen in der Physik? Eine Untersuchung mit Studierenden*. Berlin: Logos.
- Chi, M. T. H., Glaser, R. & Rees, E. (1982). Expertise in problem solving. In R. J. Sternberg (Hrsg.), *Advances in the Psychology of Human Intelligence*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Friege, G. (2001). *Wissen und Problemlösen: Eine empirische Untersuchung des wissenszentrierten Problemlösens im Gebiet der Elektrizitätslehre auf der Grundlage des Experten-Novizen-Vergleichs*. Berlin: Logos.
- Kolodner, J. L. (1983). Toward an understanding of the role of experience in the evolution from novice to expert. *International Journal of Man-Machine Studies*, 19, 497-518.
- Larkin, J. H. (1983). The Role of Problem Representation in Physics. In D. Gentner & A. L. Stevens (Hrsg.), *Mental Models* (S. 75–98). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Nersessian, N. J. (1995). Should physicists preach what they practice?: Constructive Modeling in Doing and Learning Physics. *Science & Education*, 4(3), 203-226.
- Reinhold, P., Lind, G. & Friege, G. (1999). Wissenszentriertes Problemlösen in Physik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 5(1), 41-62.
- Schultz, K. & Lochhead, J. (1991). A View from Physics. In M. U. Smith (Hrsg.), *Toward a unified Theory of Problem Solving. Views from the Content Domains*. (S. 99–114). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Simon, D. P. & Simon, H. A. (1978). Individual differences in solving physics problems. In R. Siegler (Hrsg.), *Children's thinking. What develops?* (S. 325–348). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Smith, M. U. (1991). A View from Biology. In M. U. Smith (Hrsg.), *Toward a unified Theory of Problem Solving. Views from the Content Domains*. (S. 1–19). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Sternberg, R. J. (1995). Expertise in Complex Problem Solving: A Comparison of Alternative Conceptions. In P. A. Frensch & J. Funke (Hrsg.), *Complex Problem Solving. The European Perspective* (298-322). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Wilcox, B. R., Caballero, M. D., Rehn, D. A. & Pollock, S. J. (2013). Analytic framework for students' use of mathematics in upper-division physics. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, 9(2).
- Woitkowski, D. (2018). Fachwissen und Problemlösen im Physikstudium: Vorstellung des Forschungsprojektes KEMΦ. *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung Würzburg*, 125-131.
- Woitkowski, D. (2019). Erhebung der Problemlösefähigkeit im Physikstudium: Vorstellung eines Erhebungsverfahrens. In C. Maurer (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe* (S. 492–495). Regensburg: Universität Regensburg.