

Florian Gigl
 Patrick Löffler
 Eva Cauet
 Alexander Kauertz

Universität Koblenz-Landau

Komplexe Problemlösefähigkeit von Lernenden in der Physik

Problemlösen im Physikunterricht

Problemlösen (PL) in außerschulischen Situationen wird als zentrales Anwendungsfeld des im Unterricht erworbenen physikalischen Fachwissens angesehen (Reinhold, Lind & Friege, 1999). In alltäglichen Problemsituationen sollen Lernende so agieren können, dass sie ohne zur Verfügung stehende Routinemethoden unter Einsatz von Fachwissen und Heuristiken einen gewünschten Zielzustand erreichen können (Klieme, Funke, Leutner, Reimann & Wirth, 2001).

Zoller (2003) bezeichnet die Vermittlung von Problemlösekompetenz und deren Teilkompetenzen als Primärziel von naturwissenschaftlichem Unterricht. Durch Einführung der Bildungsstandards in Deutschland sollen im Physikunterricht Inhalte und Methoden für „für das Fach typische Herangehensweisen an Aufgaben und Probleme“ in vier Kompetenzbereichen vermittelt werden (Kultusministerkonferenz, 2004, S. 6).

Im Physikunterricht werden zur Vermittlung solcher Fähigkeiten verschiedene Methoden verwendet, wie etwa textgebundene Aufgaben oder Experimente. Textgebundene Aufgaben (z. B. „Übungsaufgaben“, „Transferaufgaben“; Reinhold et al., 1999, S. 41) erfordern von Lernenden das Anwenden von Fachwissen auf andere Kontexte und werden typischerweise nach der Erarbeitung neuer Fachinhalte eingesetzt (Kauertz & Fischer, 2010; Reinhold et al., 1999). Experimente werden insbesondere zur Förderung von Fähigkeiten aus den Kompetenzbereichen Erkenntnisgewinnung und Bewertung eingesetzt (Girwidz, 2010). Wesentliche Teilprozesse sind das theoriebasierte Generieren von Hypothesen und das Überprüfen dieser am experimentellen Aufbau durch gezieltes Eingreifen (Höttecke & Rieß, 2015; Klahr & Dunbar, 1988). Hammann, Phan und Bayrhuber (2008), sowie Hopf (2007) zeigen zudem, dass sich Methoden des hypothesengeleiteten Experimentierens auch als Strategien zum Problemlösen eignen.

Im Rahmen der Bildungsstandards soll der Erfolg solcher Lerngelegenheiten mithilfe von Vergleichsstudien zu fachspezifischen Fähigkeiten zur Evaluation und Entwicklung von Schulunterricht genutzt werden (Kultusministerkonferenz & IQB, 2010). Diese werden auf internationaler Ebene um Schulleistungsstudien wie PISA oder TIMSS ergänzt (Leutner, Funke, Klieme & Wirth, 2005). Die hier überprüften Kompetenzen sind jedoch nicht mehr curricular verankert. Stattdessen wird bei der Operationalisierung von Problemlösefähigkeit im Rahmen von PISA von „normativen Vorstellungen einer breiten mathematisch-naturwissenschaftlichen Allgemeinbildung“ (Klieme et al., 2001, S. 180) ausgegangen, was die Frage nach der Passung von erhobener Problemlösefähigkeit und curricular verankerten Kompetenzziele aufwirft.

Bei der Erhebung von Problemlösefähigkeit in PISA geht man von einem domänenübergreifenden Konstrukt aus, von dem man annimmt, dass es von domänenspezifischem Wissen trennbar ist (Klieme et al., 2001; Leutner, Fleischer, Wirth, Greiff & Funke, 2012; Mullis & Martin, 2011). Mit Hinweis auf die Relevanz für außerschulische Anwendungssituationen wird Problemlösefähigkeit mithilfe interaktiver, „vorwissensneutraler“ (Greiff & Fischer,

2013, S. 38) Problemstellungen erhoben, die möglichst nah an lebenspraktische Kontexte angelehnt sind (Klieme et al., 2001). Diese *komplexen* Probleme (Greiff & Fischer, 2013) konfrontieren den Lernen mit einer unvollständigen Problemsituation. Um fehlende Informationen über das System zu erschließen, muss der Lernende mit der Problemsituation interagieren. Die vollständige Lösung des Problems erfordert dabei die Lösung elementarer Teilprobleme.

Trotz der curricularen und fachinhaltlichen Entkopplung sieht die Konzeption von PISA vor, dass die erhobenen Fähigkeiten vorrangig im Schulunterricht erworben werden sollen (Klieme et al., 2001). Unklar ist jedoch, inwiefern sich eine Verbindung zwischen fachgebundenen Lerngelegenheiten und Problemtypen aus Large-Scale-Assessments herstellen lässt. Um Hinweise auf diesen Zusammenhang zu bekommen wurde ein strukturell mit komplexen Problemstellungen aus PISA vergleichbares Testinstrument zur Erhebung von komplexer Problemlösefähigkeit in kontextualisierten physikalischen Problemstellungen (phCPS) entwickelt und erprobt.

Forschungsfragen

Zur Untersuchung der Validität des phCPS-Instruments werden folgende Fragestellungen untersucht:

- Welche Zusammenhänge zwischen externen Faktoren und domänenübergreifender komplexer Problemlösefähigkeit zeigt das Testinstrument für komplexe Problemlösefähigkeit in kontextualisierten physikalischen Problemstellungen?
- Welche Zusammenhänge zeigen sich beim Testinstrument für kontextualisierte physikalisch komplexe Problemlösefähigkeit zum domänenspezifischen Fachwissen?

Methode

Zur Erfassung von komplexer Problemlösefähigkeit in kontextualisierten physikalischen Problemstellungen wurde ein computerbasiertes Instrument kriteriengeleitet entwickelt: Analog zum MicroDYN-Instrument (Greiff & Fischer, 2013) wird von drei Phasen des Problemlöseprozesses ausgegangen, die in zwei Abschnitten ablaufen: In Abschnitt 1 soll ein kontextualisiertes (physikalisches) System – etwa am Beispiel einer Drohne - exploriert werden. Dazu sollen alle exogenen Variablen variiert und alle möglichen Systemzustände erzeugt werden. Gefundene Zusammenhänge sollen in einer möglichst generischen (physikalischen) Concept-Map wiedergegeben werden, zudem sollten passende physikalische Repräsentationen für die Situation aus einer Liste ausgewählt werden. Abschnitt 2 des phCPS-Instruments ist auf der fachlichen Ebene identisch zu Abschnitt 1, nutzt jedoch einen anderen Kontext – z.B. einen Taucher – zur Darstellung. Auf diesen Kontext sollen die gefundenen Zusammenhänge übertragen werden, und ein bestimmter Zustand (z.B. den Taucher durch das Verteilen von Gewichten austarieren) erreicht werden. Für alle Phasen wurden prozessbasierte Indikatoren abgeleitet und durch die Erhebungsumgebung (*ItemBuilder*, Rölke, 2012) automatisiert aufgenommen und bewertet. Zusammen mit dem erreichten Ergebnis der jeweiligen Phase werden diese in einem ersten Schritt durch die Bildung von Mittelwerten der 11-14 (je nach Item) z-standardisierten Indikatoren zur Bestimmung der Gesamtpformance herangezogen. Jeder Schüler durchläuft insgesamt drei Itempaarungen, wobei im Rahmen der Pilotierung beide Reihenfolgen betrachtet werden.

Zur Untersuchung der Forschungsfragen wurden neben der Performance im phCPS-Instrument die domänenübergreifende Problemlösefähigkeit, fachliche und kognitive Fähigkeiten, sowie soziodemografische Faktoren erhoben (vgl. Tab. 1).

Im Rahmen der Pilotierung wurden Schülerinnen und Schüler aus einer neunten und vierzehnten Klassen ($N_{\text{gesamt}} = 123$) an drei Gymnasien in Baden-Württemberg und Rheinland-

Pfalz getestet. Bei einem Teil der Stichprobe wurde ein planned-missingness-Design eingesetzt, das jedoch aufgrund der kürzer als erwarteten Testzeit ausgesetzt werden konnte.

Eigenentwicklungen	Fremdentwicklungen
Fachwissenstest (Krenciszek, 2017)	Komplexes domänenübergreifendes PL (<i>MicroDYN</i> , Greiff & Fischer, 2013)
Physikalisches komplexes PL	<i>Mini-q</i> Intelligenzscreening (Baudson & Preckel, 2015)
	Need for Cognition (NFC-Teens, Preckel, 2016)

Tab. 1: Übersicht der eingesetzten Instrumente

Ergebnisse

Zur Bestimmung der Testgüte des phCPS-Instruments wurde zunächst die Normalverteilung der Mittelwerte individueller Items sowie der Gesamtstichprobe überprüft und bestätigt. Aufgrund der großen (geplanten) Testausfälle wurde Cronbach's α auf Itemebene bestimmt. Die Werte liegen im Bereich von $\alpha_c = .77 \dots .88$ und können somit als ausreichend angesehen werden. Die Lösungswahrscheinlichkeiten der Items wurde aufgrund des individuellen Indikators, ob die Problemsituation bewältigt wurde, bestimmt. Sie bewegen sich im Bereich von $P_{\text{Lösung}} = .12 \dots .88$ (Mean = 0.42, SD = 0.28). Da sich keine Decken- oder Bodeneffekte zeigen, werden diese Werte als ausreichend angesehen. Zur diskriminanten und konvergenten Validierung wurden Korrelationen des phCPS-Instruments und des MicroDYN-Instruments mit Kovariaten und untereinander verglichen (vgl. Tab. 2).

		Alter	Geschlecht	Schulnote Mathe	Schulnote Physik	Schulnote Deutsch	Need for Cognition	Kogn. Fähigkeiten	Fachwissen	MicroDYN
phCPS	r	.12	-.19	-.28	-.35	0	.42	.18	.20	.39
	df	121	119	119	120	120	121	121	65	61
	p	.20	.03	.001	< .001	.97	< .001	.04	.09	.001
microDYN	r	.09	-.53	-.31	-.41	-.04	.44	.28	.39	
	df	61	61	60	61	61	61	61	33	
	p	.47	< .001	.01	< .001	.78	< .001	.03	.02	

Tab. 2: Korrelationen Meanscore Problemlösetests mit externen Indikatoren

Diskussion und Ausblick

Aufgrund der Korrelationen mit externen Indikatoren und dem MicroDYN-Instrument als vergleichbarem Instrument lässt sich festhalten, dass hier ein Problemlösetest mit zufriedenstellenden psychometrischen Kennwerten erzeugt wurde. Da die Zusammenhänge zum Fachwissen jedoch nicht den Erwartungen an einen fachbezogenen Problemlösetest entsprechen (die Zusammenhänge mit dem Fachwissen in Physik sind denen des domänenübergreifenden MicroDYN-Instruments unterlegen) sind weitere Untersuchungen und ggf. Anpassungen erforderlich, damit Schüler verstärkt ihr Fachwissen zur Lösung einbringen müssen. Weitere Untersuchungen können zudem klären, ob Fachwissen in untergeordneten Prozessen eine Rolle spielt. Hierzu sind weitere Analysen bezüglich der Dimensionalität des Instruments, sowie der Gewinnung weiterer prozessbezogener Indikatoren nötig. Die Hauptstudie soll zudem zeigen, welchen Einfluss die Experimentierfähigkeit auf den (interaktiven) Problemlöseprozess hat und das Gesamtmodell des Einflusses von unterrichtsnahen Fähigkeiten auf domänenübergreifende Problemlösefähigkeit aufklären.

Literaturverzeichnis

- Baudson, T. G. & Preckel, F. (2015). mini-q. Intelligenzscreening in drei Minuten. *Diagnostica*, 1-16.
- Girwidz, R. (2010). Medien im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik* (S. 203-264). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Greiff, S. & Fischer, A. (2013). Der Nutzen einer komplexen Problemlösekompetenz. Theoretische Überlegungen und empirische Befunde. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 27 (1-2), 27-39.
- Hammann, M., Phan, T. H. & Bayrhuber, H. (2008). Experimentieren als Problemlösen: Lässt sich das SDDS-Modell nutzen, um unterschiedliche Dimensionen beim Experimentieren zu messen? In M. Prenzel, I. Gogolin & H.-H. Krüger (Hrsg.), *Kompetenzdiagnostik. Zeitschrift für Erziehungswissenschaft (Zeitschrift für Erziehungswissenschaft Sonderheft, Bd. 8, S. 33-49)*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Hopf, M. (2007). *Problemorientierte Schülerexperimente* (Studien zum Physik- und Chemielernen). Berlin: Logos-Verl.
- Höttecke, D. & Rieß, F. (2015). Naturwissenschaftliches Experimentieren im Lichte der jüngeren Wissenschaftsforschung – Auf der Suche nach einem authentischen Experimentbegriff der Fachdidaktik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 21 (1), 127-139.
- Kauertz, A. & Fischer, H. E. (2010). Standards und Physikaufgaben. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik* (S. 663-688). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Klahr, D. & Dunbar, K. (1988). Dual Space Search During Scientific Reasoning. *Cognitive Science*, 12 (1), 1-48.
- Klieme, E., Funke, J., Leutner, D., Reimann, P. & Wirth, J. (2001). Problemlösen als fächerübergreifende Kompetenz. Konzeption und erste Resultate aus einer Schulleistungsstudie. *Zeitschrift für Pädagogik*, 47 (2), 179-200.
- Krenciszek, F. (Juni 2017). *Erfassung des Fachwissens von Lernenden der Sekundarstufe I im Themenbereich mechanische Energie*. Bachelorarbeit, Universität Koblenz-Landau. Landau.
- Kultusministerkonferenz. (2004). Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss.
- Kultusministerkonferenz & IQB. (2010). *Konzeption der Kultusministerkonferenz zur Nutzung der Bildungsstandards für die Unterrichtsentwicklung*. Köln: Link.
- Leutner, D., Fleischer, J., Wirth, J., Greiff, S. & Funke, J. (2012). Analytische und dynamische Problemlösekompetenz im Lichte internationaler Schulleistungsvergleichsstudien. *Psychologische Rundschau*, 63 (1), 34-42.
- Leutner, D., Funke, J., Klieme, E. & Wirth, J. (2005). Problemlösefähigkeit als fächerübergreifende Kompetenz. In E. Klieme, D. Leutner & J. Wirth (Hrsg.), *Problemlösekompetenz von Schülerinnen und Schülern* (S. 11-19). VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Mullis, I. V. & Martin, M. O. (IEA, Hrsg.). (2011). *TIMSS 2011 Item Writing Guidelines*, IEA. Zugriff am 16.08.2016. Verfügbar unter http://timssandpirls.bc.edu/methods/pdf/T11_Item_writing_guidelines.pdf
- Preckel, F. (2016). *NFC-Teens: Eine deutsche Need for Cognition Skala für ältere Kinder und Jugendliche*.
- Reinhold, P., Lind, G. & Friege, G. (1999). Wissenszentriertes Problemlösen in Physik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 5 (1), 41-62.
- Rölke, H. (2012). The ItemBuilder: A Graphical Authoring System for Complex Item Development. In T. Bastiaens & G. Marks (Hrsg.), *Proceedings of E-Learn: World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education 2012* (S. 344-353). Chesapeake.
- Zoller, U. (2003). HOCS Problem Solving vs. LOCS Exercise Solving: What Do College Science Students Prefer? In D. Psillos, P. Kariotoglou, V. Tselfes, E. Hatzikraniotis, G. Fassoulopoulos & M. Kallery (Eds.), *Science Education Research in the Knowledge-Based Society* (pp. 201-207). Dordrecht: Springer.