

Adrian Schmidt¹
 Rüdiger Tiemann²
 Gunnar Friege¹

¹Leibniz Universität Hannover
²Humboldt-Universität zu Berlin

Reviewstudie: Gelingensindikatoren effektiven Problemlösens

Theoretischer Hintergrund

Technologische und soziale Entwicklungen führen zu einer ständigen Anpassung der für die gesellschaftliche und wirtschaftliche Teilhabe erforderlichen Kenntnisse und Fähigkeiten. Unter zunehmender Digitalisierung gilt dies insbesondere für die MINT-Bildung, weshalb mittels der 21st Century Skills Kompetenzen hergeleitet wurden, die Richtungen für die Weiterentwicklung von Lehr- und Lerninhalten liefern (Ananiadou and Claro, 2009). Unter den Skills hat sich das Problemlösen als relevant herausgestellt. Doch obwohl die in PISA-Studien ermittelte Problemlösefähigkeit von deutschen Schüler:innen über dem internationalen Durchschnitt liegt, ist der Anteil mit der geringsten Problemlösekompetenz relativ groß (Zehner et al., 2019).

Zur mangelnden Kompetenz kommt die Unklarheit über funktionierende Lehr- und Lernstrategien und eine anhaltende Differenzierung der Forschung zum Problemlösen. So unterliegen Problemlösestrategien einem Bandbreiten-Genauigkeits-Dilemma: Einige Strategien sind in einer Vielzahl von Situationen anwendbar, während sie für deren Lösung oft zu unspezifisch sind, und andere sind für fachspezifische Probleme hocheffektiv, aber für allgemeine Anwendungen thematisch begrenzt. Darüber hinaus werden mit Unterrichtskonzeptionen wie Productive Failure, Problem-Based Learning (PBL) oder Inquiry-Based Learning bisherige Unterrichtsansätze aktuell ergänzt (Loibl et al., 2017).

Zusätzlich ist die einschlägige Literatur weder vollständig noch umfassend. Auf der einen Seite gibt es Überblicksstudien, die das Problemlösen im MINT-Unterricht (mit-) untersuchen, ohne auf die Auswirkungen in bestimmten Disziplinen wie Physik oder Chemie einzugehen (Furtak et al., 2012). Andererseits gibt es einige Studien, wie (Hattie et al., 2013), die zeigen, dass Problemlösen eine hochwirksame Unterrichtsstrategie ist, dies jedoch nur für den Mathematikunterricht belegen. Studien, die das Problemlösen im Physik- oder Chemieunterricht untersuchen, sind selten, liegen oft schon einige Jahre zurück (Hsu et al., 2004) oder sind vom Umfang her begrenzt (Ince, 2018).

Forschungsfragen und Studiendesign

Aus den strukturellen und inhaltlichen Lücken in Bezug auf das Problemlösen und dem fehlenden Fokus auf die Physik und Chemie ergeben sich folgende drei Forschungsfragen:

- Inwieweit hat sich das Problemlösen im Chemie- und Physikunterricht im Zuge gewandelter Ansprüche an naturwissenschaftliche Bildung gewandelt (z.B. durch die leichtere Verwendung digitaler Tools, aber auch durch geänderte globale Herausforderungen)?
- Wie positionieren sich die identifizierten Problemlösungsstrategien in Chemie und Physik im Bandbreite-Genauigkeits-Spektrum?
- Lassen sich verallgemeinerbare Ansätze effektiven Problemlösens im Chemie- und Physikunterricht identifizieren, die als Gelingensindikatoren in ein MINT-förderliches Bildungsumfeld transferiert werden können?

Diesen Fragen wird qualitativ und quantitativ mit Hilfe eines umfassenden systematischen Reviews (Mixed-Methods) nachgegangen. Dies beinhalten zunächst eine systematische Suche und Auswertung vorhandener Übersichtsliteratur (Reviews, Metaanalysen) und dann eine Analyse der verwandten und weiteren Primärliteratur.

Methoden des systematischen Reviews

Das systematische Review wurde nach den PRISMA-Richtlinien (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) (Page et al., 2021) konzipiert und anhand eines Review-Protokolls geplant (Xiao and Watson, 2019). Die Literatur wurde nach folgenden Kriterien über eine Titel-Abstract-Schlagwort-Suche gesucht:

Einschlusskriterien:

(1) Thema "Problem Solving", "Inquiry-based Learning/Teaching", "Problem-based Learning/Teaching", "Scientific Reasoning", "Productive Failure", oder "Heuristics"; sowie deutsche Äquivalente (2) Fachgebiet Physik- oder Chemiedidaktik; (3) Altersgruppe der Studienteilnehmer in Sekundarstufe oder College (Alter von 10-21); (4) auf Deutsch oder Englisch verfasst; (5) veröffentlicht zwischen 2002 und 2022.

Datenbanken, wiss. Zeitschriften & Bücher:

Web of Science (WoS), Scopus, Education Resources Information Center (ERIC), FIS Bildung, APA PsychINFO, Taylor Francis;
Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, American Journal of Physics, Physics Review Physics Education Research, Journal of Research in Science Teaching, Science Education, International Journal of Mathematics and Science Teaching (IJSME), Physik und Didaktik in Schule und Hochschule (PhyDidA), Empirische Pädagogik (EP); Springer- und Routledge-Bücher.

Die Review-Literatur wurde nach den gleichen Kriterien und den zusätzlichen Begriffen ("Review" ODER "Metaanalyse") gesucht. Darüber hinaus wurde die zitierte und zitierende Literatur der gefundenen Reviews mittels Vorwärts- und Rückwärtssuche extrahiert. Die Ergebnisse wurden in Cadima importiert (Kohl et al., 2018) und parallel von zwei Reviewer:innen aus der Physik- bzw. Chemiedidaktik gescreent (Inter-Rater-Reliabilität: Cohen's kappa > 0,6) (Multon and Coleman, 2018).

In einem nächsten Schritt wird ein Screening der Volltexte durchgeführt werden, in dem die umfassende Literatur auf eine anschließend codier- und in Hinblick auf die Forschungsfragen auswertbare Größenordnung reduziert wird. Neben der qualitativen Analyse werden dann auch quantitative Daten anhand der Effektgröße der Interventionen und der Vielfalt ihrer Anwendung (fachspezifischer vs. interdisziplinärer Einsatz) extrahiert werden.

Ergebnisse

Im ersten Schritt wurden 53 Reviews als relevant eingestuft und inhaltlich ausgewertet. Zunächst fällt auf, dass eine große Anzahl von Studien weniger als 20 Studien begutachten (Firman et al., 2019; Chen and Kalyuga, 2020; Astuti et al., 2021), was auf die begrenzten Suchzeiträume von 5-10 Jahren (Astuti et al., 2021) oder Datenbanken (Firman et al., 2019) zurückzuführen sein könnte. Inhaltlich fällt auf, dass viele Übersichtsarbeiten zwar das Problemlösen im Physik- oder Chemieunterricht (mit-)analysieren, dies aber in eine breitere Analyse aller Naturwissenschaften einbetten (Pedaste et al., 2015; Engelmann et al., 2016; Belland, 2017). Für problembasiertes Lernen (PBL) mit einer Effektgröße von 0,87 (Funa and Prudente, 2021) oder forschendes Lernen (Firman et al., 2019; Heindl, 2019) werden positive Auswirkungen auf das Lernen von Schülerinnen und Schülern im naturwissenschaftlichen

Unterricht anerkannt. Problemlösen gefolgt von forschendem Lernen (PS-I) wird als vorteilhaft gegenüber I-PS für domänenspezifische Probleme erkannt ($g = 0,36$) (Sinha and Kapur, 2021) und im Allgemeinen erweist sich der Einsatz digitaler Werkzeuge als positiv auf den Lernerfolg ($g = 0,65$) (Hillmayr et al., 2020). Daraus lässt sich schließen, dass ein generell positiver Effekt des Problemlösens auf das naturwissenschaftliche Lernen anerkannt ist und dass aktuelle Forschungsergebnisse vorliegen.

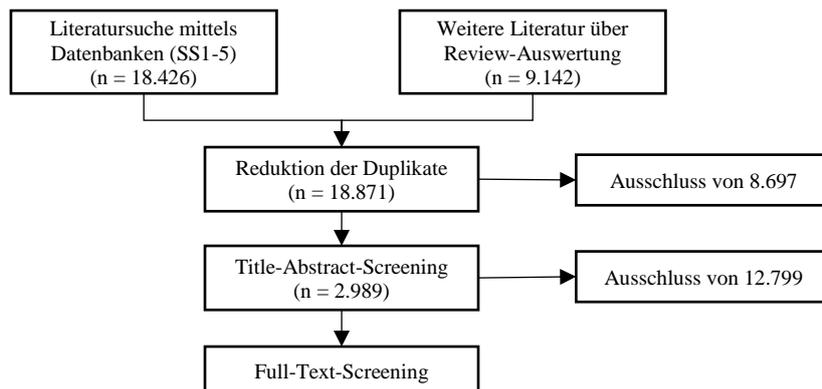


Abb. 1 – PRISMA-Flowchart der Suche der Literatursuche und des Screenings

Unsere anschließende Suche der Primärliteratur (Abb. 1) lieferte 18.871 Artikel. Von diesen lassen sich 46,1% eindeutig der Physik, 29,2 der Chemie und 13,9% beiden Disziplinen zuordnen. Interessant ist eine Auswertung der Publikationsjahre für den Begriff "Problemlösen": Prozentual gesehen finden sich viele Publikationen mit reinem Physikbezug in den Jahren um 2006, mit einem anschließenden starken Abfall der Zahlen bis 2010, aber einem anschließenden stetigen Anstieg bis 2019. Für die Chemie sind die Publikationszahlen um 2006 relativ niedrig und es ist ein stetiger Anstieg bis heute zu beobachten.

Eine erste Inhaltsanalyse der eingeschlossenen Studien (2.989) liefert Hinweise auf die ersten Forschungsfragen: Zum einen lassen sich ca. 35,9% der eingeschlossenen Studien domänenspezifisch in den Bereich der Physik (u.a. Raine and Symons, 2012; Gok, 2015) und 31,3% in Chemie (u.a. Rodríguez Ortega et al., 2019) einordnen. Von diesen wiederum weisen erste Studien auf neuere technologiebezogene Ergebnisse zum Problemlösen hin, was zusammen mit einem erhöhten Publikationsaufkommen in den letzten Jahren auf aktuelle Entwicklungsveränderungen im Problemlösen hinweist.

Zusammenfassung und Ausblick

Mit den bisherigen Ergebnissen lässt sich feststellen, dass es eine übereinstimmende Einschätzung positiver Einflüsse des Problemlösens auf den allgemeinen Schüler:innenerfolg im MINT-Unterricht gibt und dass insbesondere die Methoden des problem- und forschungsbasierten Lernens von Vorteil sind. Eine bibliometrische Analyse der Literatur belegt, dass Problemlösen ein nach wie vor aktives und wachsendes Forschungsfeld ist, wobei die Zahl der Studien mit reinem Physikbezug größer als die der Studien mit reinem Chemiebezug ist. Die bisherige Datenlage lässt außerdem vermuten, dass die nachfolgenden inhaltlichen Auswertungen explizite Hinweise zu den Forschungsfragen, insbesondere zu funktionierenden Lehr- und Lernmethoden liefern werden.

Literatur

- Ananiadou, K., and Claro, M., '21st Century Skills and Competences for New Millennium Learners in OECD Countries. OECD Education Working Papers, No. 41', *OECD Publishing (NJ1)*, 2009.
- Astuti, N. H., Rusilowati, A., and Subali, B., 'STEM-based learning analysis to improve students' problem solving abilities in science subject: A literature review', *Journal of Innovative Science Education*, Vol. 10, No. 1, 2021.
- Belland, B. R., *Instructional Scaffolding in STEM Education. Strategies and Efficacy Evidence*, Springer International Publishing, 2017.
- Chen, O. H., and Kalyuga, S., 'Exploring factors influencing the effectiveness of explicit instruction first and problem-solving first approaches', *European Journal of Psychology of Education*, Vol. 35, No. 3, 2020.
- Engelmann, K., Neuhaus, B. J., and Fischer, F., 'Fostering Scientific Reasoning in Education--Meta-Analytic Evidence from Intervention Studies', *Educational Research and Evaluation*, Vol. 22, 5-6, 2016.
- Firman, M. A., Ertikanto, C., and Abdurrahman, A., 'Description of meta-analysis of inquiry-based learning of science in improving students' inquiry skills', *Journal of Physics: Conference Series*, 2019.
- Funa, A. A., and Prudente, M. S., 'Effectiveness of Problem-Based Learning on Secondary Students' Achievement in Science: A Meta-Analysis', *International Journal of Instruction*, Vol. 14, No. 4, 2021.
- Furtak, E. M., Seidel, T., Iverson, H., and Briggs, D. C., 'Experimental and Quasi-Experimental Studies of Inquiry-Based Science Teaching: A Meta-Analysis', *Review of Educational Research*, Vol. 82, No. 3, 2012.
- Gok, T., 'An Investigation of Students' Performance after Peer Instruction with Stepwise Problem-Solving Strategies', *International Journal of Science and Mathematics Education*, Vol. 13, No. 3, 2015.
- Hattie, J., Beywl, W., and Zierer, K., *Lernen sichtbar machen*, Schneider-Verl. Hohengehren, 2013.
- Heindl, M., 'Inquiry-based learning and the pre-requisite for its use in science at school: A meta-analysis', *Journal of Pedagogical Research*, Vol. 3, No. 2, 2019.
- Hillmayr, D., Ziemwald, L., Reinhold, F., Hofer, S., and Reiss, K., 'The potential of digital tools to enhance mathematics and science learning in secondary schools. A context-specific meta-analysis', *Computers & Education*, 2020.
- Hsu, L., Brewster, E., Foster, T. M., and Harper, K. A., 'Resource letter RPS-1: Research in problem solving', *American journal of physics*, Vol. 72, No. 9, 2004.
- Ince, E., 'An Overview of Problem Solving Studies in Physics Education', *Journal of Education and Learning*, Vol. 7, No. 4, 2018.
- Kohl, C., McIntosh, E. J., Unger, S., Haddaway, N. R., Kecke, S., Schiemann, J., and Wilhelm, R., 'Online tools supporting the conduct and reporting of systematic reviews and systematic maps: a case study on CADIMA and review of existing tools', *Environmental Evidence*, Vol. 7, No. 1, 2018.
- Loibl, K., Roll, I., and Rummel, N., 'Towards a Theory of When and How Problem Solving Followed by Instruction Supports Learning', *Educational Psychology Review*, Vol. 29, No. 4, 2017.
- Multon, K. D., and Coleman, J. S. M., 'Inter-Rater Reliability', in B. B. Frey (ed.), *The SAGE Encyclopedia of Educational Research, Measurement, and Evaluation*, SAGE Publications, Inc, 2018.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L. A., Stewart, L. A., Thomas, J., Tricco, A. C., Welch, V. A., Whiting, P., and Moher, D., 'The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews', *The BMJ*, Vol. 372, 2021.
- Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., Jong, T. de, van Riesen, S., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C., and Tsourlidaki, E., 'Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle', *Educational Research Review*, Vol. 14, 2015.
- Raine, D., and Symons, S., 'Problem-based learning: undergraduate physics by research', *CONTEMPORARY PHYSICS*, Vol. 53, No. 1, 2012.
- Rodríguez Ortega, P. G., Gilbert-López, B., Esteo Donaire, S., and Montejo, M., 'Study of the Effect of Volume Contraction in Methanol-Water Mixtures Used as Solvents for Analytical Purposes: A Student-Centered Project for Practical Learning', *Journal of Chemical Education*, Vol. 96, No. 4, 2019.
- Sinha, T., and Kapur, M., 'Robust effects of the efficacy of explicit failure-driven scaffolding in problem-solving prior to instruction: A replication and extension', *Learning and Instruction*, Vol. 75, 2021.
- Xiao, Y., and Watson, M., 'Guidance on Conducting a Systematic Literature Review', *Journal of Planning Education and Research*, Vol. 39, No. 1, 2019.
- Zehner, F., Weis, M., Vogel, F., Leutner, D., and Reiss, K., *Kollaboratives Problemlösen in PISA 2015: Deutschland im Fokus*, 2019.