LACHER, Martin; LOIBL, Katharina; KÜNSTING, Josef & LEUDERS, Timo
Luzern / Freiburg i. B.; Freiburg i. B.; Freiburg i. B.; Freiburg i. B.

Teaching Through Problem Solving in einer mehrphasigen Unterrichtssequenz: Helfen Scaffolding Prompts den Schwachen oder hemmen sie die Starken?

Einleitung und Fragestellung

Problemlösen ist eine nicht wegzudenkende Facette des zeitgemäßen Mathematikunterrichts und wird für unterschiedliche Zwecke und Unterrichtsphasen propagiert (Schoenfeld, 1985; Winter, 1995; Wittmann & Müller, 1992). Als Lehrperson erlebt man diese Aktivität in der alltäglichen Praxis häufig tatsächlich „problematisch“: Nur weil Lernende in Form von Problemlöseaufgaben ein geeignetes Lernangebot erhalten, bedeutet das nicht, dass sie damit auch produktiv umgehen können. Im Gegenteil, gerade in diesen offenen Unterrichtssituationen, zeigen sich erhebliche Unterschiede bei den Lernenden. Sie erfordern mehr Aufmerksamkeit, Nachdenken, gegebenenfalls mehr Vorwissen, eine höhere Kontrolle über den Lösungsprozess, und nicht zuletzt ein höheres Selbstvertrauen, eine Lösung zu finden, als Routineaufgaben. Dieser erhöhte Cognitive Load kann für Lernende eine große Belastung beim Lernen darstellen (Sweller, 1994). Problemlöseaktivitäten müssen deshalb passend unterstützt werden (de Jong, 2023). Die vorliegende Studie untersucht, ob Scaffolding Prompts in einer mehrphasigen Unterrichtssequenz, in der Problemlösen in allen Phasen integriert ist, positive Effekte auf die Lernergebnisse hat. Dabei wird auch untersucht, welchen Faktoren diese Lernergebnisse moderieren und ob diese Moderatoren differenzielle Effekte bezüglich der Scaffolding Prompts aufweisen. Die Fragestellungen sind:

(1) Ist eine mehrphasige Unterrichtssequenz mit Teaching Through Problem Solving in allen Phasen ohne bzw. mit Scaffolding Prompts lernwirksam?

(2) Welche Effekte haben mathematisches Vorwissen, Sprachfähigkeiten, Selbstkonzept, Selbstwirksamkeit und Selbstregulation auf die Lernergebnisse in dieser Unterrichtssequenz?

(3) Sind diese Effekte differenziell bezüglich der Integration von Scaffolding Prompts in die Unterrichtssequenz?

Theoretischer Hintergrund

Problemlösen liegt vor, wenn eine Barriere den direkten Übergang vom Ausgangs- zum Zielzustand verhindert und eine Lösungsmethode zunächst unbekannt ist. Im Mathematikunterricht tritt diese Situation auf, wenn

In: L. Schick, M. Platz & A. Lambert (Hrsg.),
Beiträge zum Mathematikunterricht 2025.
58. Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik. WTM.
https://doi.org/10.37626/GA9783959873307.0

Lernende Lösungswege und Wissen konstruieren müssen, um die Lösung eines Problems zu finden. Teaching Through Problem Solving (TTPS, Schroeder & Lester, 1989) versteht Problemlösen nicht nur als eine Aktivität oder ein Ziel des Mathematikunterrichts, sondern auch als einen didaktischen Ansatz: Der Unterricht beginnt mit einer Problemsituation, die zentrale Aspekte des Themas umfasst und zur Entwicklung mathematischer Techniken zur Problemlösung führt. Ziel von TTPS ist es, eine vernetzte Wissensstruktur zu fördern. Tiefes Verständnis fördert Problemlösen, und Problemlösen vertieft das Verständnis. Es gibt umfangreiche empirische Belege, dass gut gestaltete Unterrichtssequenzen mit Problemlöseelementen das Lernergebnis positiv beeinflussen können. Besonders vorteilhaft ist problemorientiertes Lernen, wenn Problemlösephasen angemessen begleitet und mit expliziten Instruktionsphasen kombiniert werden (de Jong et al., 2023).

Für ein ideales Unterrichtsdesign reicht es nicht aus, eine einzige Abfolge einer Problemlösephase und einer expliziten Instruktionsphase zu implementieren, sondern es ist notwendig, das Design so zu erweitern, dass es den gesamten Lernprozess abdeckt. Solche Instruktionsdesigns, die die Kombination mehrerer Phasen beinhalten, um einen nachhaltigen Erwerb mathematischer Kenntnisse zu erreichen, werden als Composite Instructional Designs (CID, Loibl et al., 2023) bezeichnet und basieren auf der Prämisse, dass das Instruktionsdesign einer Phase nicht nur die Lernprozesse innerhalb dieser Phase, sondern auch in nachfolgenden Phasen beeinflussen kann.

Ein Mittel zur Begleitung des Lernprozesses in Problemlösephasen ist Scaffolding (van de Pol et al., 2010), das kognitive Strukturierung und Reduktion der Freiheitsgrade unterstützt. In dieser Studie erfolgt die Umsetzung durch aufgabenspezifische, kognitive Prompts, die auf hypothetischen Lernverläufen basieren (Prediger & Pöhler, 2015).

Erfolgreiches Problemlösen beruht auf vier Komponenten (vgl. Schoenfeld, 1985): (1) *Ressourcen*, d. h. Vorwissen; (2) *Heuristiken*, Strategien für nichtroutinemäßige Aufgaben; (3) *Kontrolle*, also Selbstregulation und (4) *Überzeugungen*, wie Selbstkonzept und Selbstwirksamkeit. Für alle diese Faktoren wurden Effekte auf die mathematische Leistung empirisch nachgewiesen.

Empirische Studie

Zur Überprüfung der Fragestellungen wurde eine pseudo-experimentelle Studie mit 17 Schweizer Schulklassen (N = 252 Lernende) durchgeführt. Drei Gruppen wurden gebildet: I0, I1 und KG. Gruppe I0 absolvierte eine 10 Lektionen umfassende Unterrichtssequenz zu Teiler und Vielfachen, die im in einem CID mit TTPS konzipiert wurde, jedoch ohne Scaffolding Prompts. Gruppe I1 erhielt dieselbe Unterrichtssequenz, wobei alle Problemlöseaufgaben durch schriftliche Scaffolding Prompts ergänzt wurden, die vor der Bearbeitung zu studieren waren. Die Kontrollgruppe KG arbeitete in dieser Zeit nicht am Thema Teilern und Vielfachen. Das mathematische Wissen im entsprechenden Themenbereich wurde zu drei Zeitpunkten (Pre, Post, Follow-Up) erhoben.

Auf Basis einer früheren Studie (Lacher et al., eingereicht) wurden das Vorwissen anhand der letzten Zeugnisnoten in Mathematik und Deutsch, heuristische Fähigkeiten nach Philipp (2013), Selbstregulation nach Pintrich (2000) sowie Überzeugungen durch das mathematische Selbstkonzept und die Selbstwirksamkeit gemessen. Die Instrumente sind detailliert bei Lacher et al. (eingereicht) beschrieben. Mit Ausnahme der Skala für heuristische Fähigkeiten wurden alle Faktorscores mithilfe eines Graded Response Models (GRM) berechnet und zeigten gute Fit-Indizes. Zur Überprüfung der Wirksamkeit der Interventionen wurde ein Mixed Model for Repeated Measures (MMRM) verwendet und mit einem Tukey HSD-Test die geschätzten marginalen Mittelwerte zwischen den Gruppen pro Zeitpunkt verglichen. Differenzielle Effekte der Moderatoren wurden mittels eines erweiterten MMRM mit Interaktionseffekten der Kovariaten und der Gruppen untersucht.

Die Ergebnisse zur allgemeinen Wirksamkeit der Interventionen zeigen, dass im Posttest die Gruppen I0 und I1 signifikant höhere Lernergebnisse erzielen als die KG, obwohl die KG im Pretest signifikant bessere Resultate aufwies. Zudem sind die Ergebnisse von I0 signifikant besser als die von I1. Im Follow-Up-Test ändert sich das Bild: I1 erzielt weiterhin signifikant bessere Werte als KG, während der Unterschied zwischen I0 und KG sowie zwischen I0 und I1 nicht mehr signifikant ist. Die Analyse der (differenziellen) Effekte der Moderatoren auf die Lernergebnisse zeigt hochsignifikante positive Effekte der Zeugnisnoten in Mathematik und Deutsch sowie signifikante positive Effekte von Selbstregulation und aufgabenbezogener Selbstwirksamkeit. Differenzielle Effekte der Moderatoren in Bezug auf die Gruppenzugehörigkeit konnten nicht nachgewiesen werden.

Diskussion

Die Ergebnisse dieser Studie weisen darauf hin, dass ein mehrphasiges Unterrichtskonzept, das TTPS in alle Phasen integriert, signifikante Effekte auf die Lernergebnisse erzielen kann. Vorwissen in Mathematik und Sprache (gemessen durch Zeugnisnoten), Selbstregulation und Selbstwirksamkeit zeigen sich als positive Moderatoren dieser Lernwirkung. Die Integration von Scaffolding Prompts scheint die Nachhaltigkeit des Lernens steigern zu können, wie die Ergebnisse des Follow-Up-Tests zeigen. Dabei konnten keine negativen Effekte der Prompts auf Lernende mit hohen Ausprägungen in den genannten Moderatoren nachgewiesen werden. Fazit: Ein CID, das TTPS in alle Phasen integriert und mit Scaffolding Prompts Unterstützung zu den problemorientierten Aufgaben bietet, ermöglicht nachhaltigere Lerneffekte für alle Lernenden.

Literatur

de Jong, T., Lazonder, A. W., Chinn, C. A., Fischer, F., Gobert, J., Hmelo-Silver, C. E., Koedinger, K. R., Krajcik, J. S., Kyza, E. A., Linn, M. C., Pedaste, M., Scheiter, K., & Zacharia, Z. C. (2023). Let's talk evidence – The case for combining inquiry-based and direct instruction. *Educational Research Review, 39*, 100536. DOI: 10.1016/j.edurev.2023.100536

Loibl, K., Leuders, T., Glogger-Frey, I., & Rummel, N. (2024). CID: A framework for the cognitive analysis of composite instructional designs. *Instructional Science*. DOI: 10.1007/s11251-024-09665-9

Philipp, K. (2013). *Experimentelles Denken.* Freiburger empirische Forschung in der Mathematikdidaktik. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. DOI: 10.1007/978-3-658-01120-8

Pintrich, P. R. (2000). The role of goal orientation in self-regulated learning. In M. Boekarts, P. R. Pintrich, & M. Zeidner (Hrsg.), *Handbook of self-regulated learning* (S. 451–501). Academic Press.

Prediger, S., & Pöhler, B. (2015). The interplay of micro- and macro-scaffolding: An empirical reconstruction for the case of an intervention on percentages. *ZDM, 47*(7), 1179–1194. DOI: 10.1007/s11858-015-0723-2

Schoenfeld, A. H. (1985). *Mathematical problem solving.* Academic Press.

Schroeder, T. L., & Lester, F. K. (1989). Developing understanding in mathematics via problem solving. In P. R. Trafton (Hrsg.), *New directions for elementary school mathematics, 1989 Yearbook of the National Council of Teachers of Mathematics* (S. 31–42). NCTM.

Sweller, J. (1994). Cognitive load, learning difficulty, and instructional design. *Learning and Instruction, 4*, 295–312.

van de Pol, J., Volman, M., & Beishuizen, J. (2010). Scaffolding in teacher–student interaction: A decade of research. *Educational Psychology Review, 22*, 271–296. DOI: 10.1007/s10648-010-9127-6

Winter, H. (1995). Mathematikunterricht und Allgemeinbildung. *Mitteilungen der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik, 61*, 37–46.

Wittmann, E., & Müller, G. (1992). Üben im Lernprozess. In *Handbuch produktiver Rechenübungen* (Bd. 2, S. 10).