

***Productive Failure* beim Chemielernen.
Eine Studie zum Einfluss von Problemlösen vor der Instruktion auf die
Entwicklung des Konzeptverständnisses.**

Theoretischer Hintergrund

Ein Ziel naturwissenschaftlicher Bildung ist es, Schüler*innen beim Aufbau wissenschaftlich anerkannter Konzepte zu unterstützen. Seit Jahrzehnten wird in der Literatur beschrieben, dass Schüler*innen Vorstellungen mit in den Unterricht bringen, die z.B. im Kontext alltäglicher Erfahrungen und Beobachtungen entstanden sind und die Prozesse zum Aufbau fachwissenschaftlich anerkannter Konzepte maßgeblich mit beeinflussen (z.B. Duit et al. 2013). Es besteht weitestgehend Konsens, dass existierende Vorstellungen im Prozess der Entwicklung wissenschaftlich anerkannter Konzepte explizit berücksichtigt werden müssen (z.B. Marohn, 2008; Treagust, Duit, & Nieswandt, 2000; Taber, 2019; Niebert & Gropengießer, 2015). Lernen in den naturwissenschaftlichen Fächern wird somit verstanden als die Weiterentwicklung vorunterrichtlicher Vorstellungen in Richtung wissenschaftlich anerkannter Vorstellungen (z.B. Dannemann, 2015).

In traditionellen Lernansätzen wird insbesondere beim Erstzugang zu einem neuen Inhalt das konzeptuelle Wissen meist direkt instruktional (DI) vermittelt. Im Anschluss an eine Instruktion wird das erworbene Konzeptwissen dann z.B. durch vertiefende Problemlöseaufgaben gefestigt (z.B. Kirschner, Sweller, & Clark, 2006). Damit folgt klassischer Unterricht oft der Logik *Instruction-prior-to-Problem-Solving* (**I-PS**, siehe Abb. 1).

Unter dem Begriff *Productive Failure* erhalten derzeit Ansätze international Aufmerksamkeit, in denen die Logik klassischer Lern-Ansätze umgedreht wird und eine Problemlöse-Aufgabe *vor* eine Instruktion geschaltet wird (**Problem-Solving-prior-to-Instruction: PS-I**; z.B. Kapur & Bielaczyc, 2012; Loibl & Rummel, 2017). Zentral ist hierbei, dass Schüler*innen mit einer Problemlöse-Situation konfrontiert werden, für deren Lösung sie zunächst noch keine tragfähigen fachwissenschaftlichen Konzepte besitzen. Darüber hinaus werden sie zunächst im Ungewissen über die korrekten Lösungsansätze gelassen. In dessen Folge erleben sie eine Unsicherheit, die als *Scheitern* (Failure) bezeichnet wird. In diversen Studien aus dem Bereich Lernen mathematischer Konzepte wurde bereits empirisch gezeigt, dass sich PS-I positiver auf die Entwicklung des Konzeptverständnisses auswirkt im Vergleich zu traditionelle I-PS Ansätzen (z.B. Loibl & Leuders, 2018; Loibl & Rummel, 2014. Kapur, 2014). Aus diesem Grund wird das potenzielle Scheitern als *produktiv* (Productive Failure) bezeichnet.

Studie zum vorinstruktionalen Problemlösen im Chemieanfangsunterricht

In einer Studie wird der PS-I-Ansatz für das Lernen im Fach Chemie adaptiert und untersucht, ob der Effekt des vorinstruktionalen Problemlösens replizierbar ist. In der Untersuchung wird das Verbrennungskonzept thematisiert.

Forschungsfrage

Die Forschungsfrage lautet: Inwieweit zeigen die Schüler*innen in der PS-I-Gruppe einen höheren Zuwachs ihres konzeptionellen Verständnisses als Schüler*innen in der I-PS-Vergleichsgruppe?

Methode und Design

An der Studie nahmen $N = 49$ Schüler*innen aus zwei 7. Klassen eines niedersächsischen Gymnasiums teil. Beide Klassen wurden von derselben Fachlehrkraft unterrichtet. Die Zuordnung der Klassen zu den Vergleichsgruppen (PS-I und I-PS) erfolgte per Zufall. Die Studie folgt dem quasi-experimentellen Design einer Interventionsstudie (siehe Abb. 1). Die Experimentalgruppe PS-I erhielt dabei die Problemlöse-Aufgabe (PS) vor der Instruktion. Die Experimentalgruppe I-PS erhielt zunächst die Instruktion und löste dann dieselbe Problemlöseaufgabe. Um die Wirksamkeit zu beurteilen wurde das Konzeptverständnis per Vor- und Nachtest (jeweils ca. 25Min.) erhoben. Die gesamte Intervention umfasste in beiden Vergleichsgruppen zwei Doppelstunden (siehe Abb. 1).

Instrumente:

Als Instrument zur Messung des Konzeptverständnisses wurde der TEVko (Test zur Erfassung des Verbrennungskonzepts) eingesetzt. Der Test wurde im Rahmen eines DFG-Projektes (SCHA 1025/4-1) theoriebasiert entwickelt und validiert.

In der PS-Situation wurde eine Aufgabe nach der Peer-Interaction-Methode (Heeg, et al., 2020) eingesetzt. Die Bearbeitung des Problems erforderte eine Kombination aus individueller und kollaborativer Auseinandersetzung mit den eigenen Vorstellungen zur Erklärung des Phänomens beim Boyle-Versuch (Johannsmeyer et al., 2013).

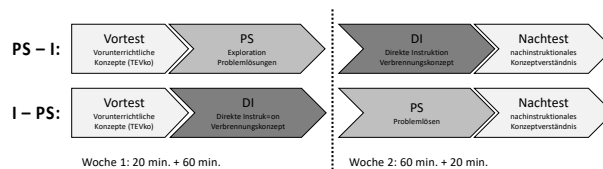


Abb. 1: Design der Studie.

Auswertung:

Zur Beantwortung der Forschungsfrage wurden die Daten mittels SPSS zunächst deskriptiv analysiert. Zur Bestimmung der unterschiedlichen Entwicklungen von Vor- zu Nachtest wurde eine Mittelwertvergleich über einen t -Test für unabhängige Stichproben gerechnet.

Ergebnisse

Es liegen insgesamt $N = 47$ (PS-I: $n=23$; I-PS: $n=24$) vollständige Datensätze von Schüler*innen vor, die sowohl im Vor- und Nachtest teilgenommen haben.

Im Vortest zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Vergleichsgruppen ($p=.282$, $t(47)= 1.09$). Somit kann von vergleichbaren Ausgangsvoraussetzung beider Gruppen ausgegangen werden. Im Posttest weist die PS-I-Gruppe im Vergleich zur I-PS-Gruppe jedoch ein signifikant höheres Nachtestergebnis auf ($p < .01$, $t(46)= 2.78$, siehe Abb. 2). Betrachtet man den Lernzuwachs in beiden Vergleichsgruppen (PS-I: $M = 3,7$, $SD = 5,42$; I-PS: $M = 0,29$, $SD = 5,57$), ausgedrückt als Differenz zwischen den Mittelwerten im

Vor- und Nachtest, so lässt sich bei der PS-I-Gruppe ein signifikant höherer Zuwachs in den Mittelwerten messen als bei der I-PS-Gruppe ($p = < .05$, $t(45) = 2.12$, siehe Abb. 3). Dieser Effekt weist eine mittlere Stärke auf ($d = 0.5$ bzw. $r = 0.3$).

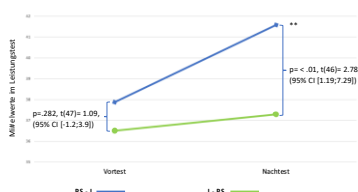


Abb. 2: Mittelwertvergleich zum Zeitpunkt des Vor- und Nachtests zwischen beiden Gruppen.

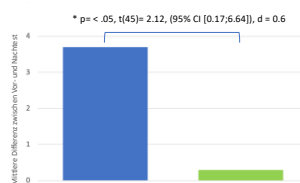


Abb. 3: Vergleich der mittleren Differenz aus Vor- und Nachtestergebnis beider Gruppen.

Diskussion und Ausblick

In dieser Studie wurde der Einfluss des vorinstruktionalen Problemlösens auf die Entwicklung des Konzeptverständnisses untersucht. Der positive Effekt wurde in diversen Studien für das Lernen mathematischer Konzepte bestätigt (z.B. Kapur & Bielaczyc, 2012; Loibl & Leuders, 2018) und in dieser Studie für das Lernen chemischer Konzepte repliziert. Der positive Effekt durch das vorinstruktionale *Scheitern* wird darauf zurückgeführt, dass die Schülerinnen zunächst ihr eigenes Vorwissen aktivieren und ausdifferenzieren. Basierend auf ihrer Unsicherheit und den Erfahrungen beim *Scheitern* können sie während der sich anschließenden Instruktion kritische Merkmale des Konzepts und eigene Wissenslücken leichter erkennen als bei einer direkten Instruktion (z.B. Kapur & Bielaczyc, 2012; Loibl & Leuders, 2019). Das Anbieten des fachwissenschaftlichen Konzepts (nachinstrukional) hilft den Schüler*innen zur richtigen Zeit im Lernprozess das notwendige (und ihnen fehlende) Konzeptwissen mit dem eigenen Vorwissen zu verknüpfen und eventuelle Wissenslücken zu schließen.

Hierbei kommt es nicht darauf an, dass die Lernenden vorinstrukional qualitativ wertvolle (oder kanonische) Lösungen generieren. Kapur & Bielaczyc (2012) beschreiben in ihrer Studie, dass die meisten Schüler*innen der PS-I-Gruppen zwar viele verschiedenartige Lösungen entwickelten, die jedoch - mit Ausnahme weniger - alle fachwissenschaftlich nicht angemessen waren. Somit scheint vor allem der Prozess der Auseinandersetzung hier den Ausschlag zu geben.

Ein erster qualitativer Einblick in die Daten der vorliegenden Studie bestätigt diese Ergebnisse: Keine der Lösungen der PS-I-Gruppen scheint nah an der kanonischen Lösung zu sein, während die Gruppen der I-PS-Gruppen Lösungen generierten, in denen die instrukional vermittelten Konzepte angemessen angewendet wurden.

Als eine Konsequenz aus der Studie ergibt sich die Frage, ob der Effekt in Bezug auf den Transfer des erlangten Konzeptwissens auf andere Aufgaben, Kontexte oder Teilkonzepte messbar ist. Hierzu liegt bereits ein Datensatz aus einer zweiten Studie vor, der derzeit ausgewertet wird. Offen ist auch noch die Frage, welche Merkmale eine gute Problemlöseaufgabe aus dem Bereich Chemie aufweisen muss, um eine gute Aufgabe für ein *Productive Failure* Setting zu sein.

Das Projekt ist Teil eines DFG-geförderten Netzwerks (LO 2196/2-1). Hier werden diese und weitere aktuelle Fragen des PS-I-Diskurs aufgegriffen.

Referenzen

- Dannemann, S. (2015). Schülervorstellungen zur visuellen Wahrnehmung - Entwicklung und Evaluation eines Diagnoseinstruments. Didaktisches Zentrum der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg.
- Duit, R., Treagust, D. F., & Widodo, A. (2013). Teaching science for conceptual change. In Vosniadou S. (ed.), *Educational Psychology Handbook. International Handbook of Research on Conceptual Change*, Hoboken: Taylor & Francis, Ltd, 2nd ed., pp. 487–503.
- Heeg, J., Hundertmark, S., & Schanze, S. (2020). The interplay between individual reflection and collaborative learning – seven essential features for designing fruitful classroom practices that develop students' individual conceptions. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 2020,21, 765-788.
- Johannsmeyer, F., Schneider, J., & Oetken, M. (2003). Schülervorstellungen zum Boyle-Versuch, *CHEMKON*, 10, 73–74.
- Kapur, M., & Bielaczyc, K. (2012). Designing for productive failure. *The Journal of the Learning Sciences*, 21(1), 45-83.
- Kapur, M. (2014). Productive failure in learning math. *Cognitive Science*, 38(5), 1008-1022.
- Kirschner, P.A., Sweller, J., & Clark, R.E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: an analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry- based teaching. *Educational Psychologist*, 41, 75-86.
- Loibl, K. & Leuders, T. (2019). How to make failure productive: Fostering learning from errors through elaboration prompts. *Learning and Instruction*, 62, 1-10
- Loibl, K., & Leuders, T. (2018). Errors During Exploration and Consolidation—The Effectiveness of Productive Failure as Sequentially Guided Discovery Learning. *Journal für Mathematik-Didaktik* 39 (1), 69-96, 2018.
- Loibl, K., & Rummel, N. (2017). Knowing what you don't know makes failure productive. *Learning and Instruction*, 34, 75-85
- Loibl, K., Roll, I. & Rummel, N. (2017). Towards a theory of when and how problem solving followed by instruction supports learning. *Educational Psychology Review*, 29(4), 693-715.
- Marohn, A. (2008). "Choice2learn" - eine Konzeption zur Exploration und Veränderung von Lernervorstellungen im naturwissenschaftlichen Unterricht. *ZfDN*, 14, 2008
- Niebert, K. & Gropengiesser, H. (2015) Understanding Starts in the Mesocosm: Conceptual metaphor as a framework for external representations in science teaching, *International Journal of Science Education*, 37, 903-933
- Treagust, D. F., Duit, R., & Nieswandt, M. (2000), Sources of students' difficulties in learning chemistry, *Educación Química*, 11, 228–235.
- Taber, K. S. (2019). Alternative Conceptions and the Learning of Chemistry. *Israel J. Chem.*, 59, 450–469.