

Konzept der Dichte verstehen mit (meta-)kognitiven Prompts

Motivation. Das Verstehen des Phänomens “Schwimmen, Schweben und Sinken” durch selbstreguliertes Experimentieren stellt Lernende oftmals vor Herausforderungen (Hardy, Jonen, Möller & Stern, 2006). Ein Grund dafür liegt in den wissenschaftlich anspruchsvollen Konzepten, die Schwimmen, Schweben und Sinken als komplexes Zusammenspiel von Größen wie Gewichtskraft, Masse, Volumen, Dichte, Auftriebskraft und den damit verbundenen Prozessen modellieren (Perkins & Grotzer, 2005). Schüler:innen haben häufig kognitive Schwierigkeiten, das Konzept der Dichte zu verstehen, da es eine komplexe Verbindung zwischen den abstrakten Größen Masse und Volumen erfordert und die Fähigkeit, diese Konzepte proportional zueinander zu denken. Metakognitiv haben Lernende Schwierigkeiten, in Experimenten den Einfluss von Volumen und Masse auf das Schwimmverhalten systematisch zu untersuchen und dabei geeignete kognitive Strategien wie die Variablenkontrollstrategie (VKS) anzuwenden (Chen & Klahr, 1999; Zimmerman & Croker, 2013). Das Grundverständnis über die systematisch zu untersuchenden Variablen stellt jedoch eine essenzielle Voraussetzung für erfolgreiches Experimentieren dar (Chang et al., 2008). Entsprechend stellt sich die Frage, wie Lernende instruktional so unterstützt werden können, dass diese einerseits adäquate Experimentierstrategien beim Planen ihrer Experimente anwenden und zugleich das Schwimmen, Schweben und Sinken von Vollkörpern über das Konzept der Dichte nachhaltig besser verstehen.

Theoretische Rahmung. Metakognitive und kognitive Unterstützungsmaßnahmen, wie „Prompts“, können selbstreguliertes Lernen bedeutsam fördern (Bannert, 2009), was sich auch für die Lernform des selbstregulierten Lernens durch Experimentieren zeigen ließ (Künsting, et al., 2013). Prompts sind sogenannte Lernstrategieaktivatoren, die als nondirektiver Hinweis Lernende zur Nutzung metakognitiver und kognitiver Lernstrategien anregen sollen und in diesem Zuge zu einer metakognitiven bzw. kognitiven Aktivierung führen. Maßnahmen zur (meta-) kognitiven Aktivierung sollen hierbei Lernende zur Tiefenverarbeitung des Lerngegenstands (Dichtekonzept, Experimentierstrategiewissen) anregen, um einen verstehensbasierten, nachhaltig vernetzten Wissensaufbau zu fördern. Für die Initiierung, Aufrechterhaltung und den Erfolg selbstregulierter Lernprozesse ist jedoch ein Mindestmaß an Motivation erforderlich (Artelt & Wirth, 2014), wobei in diesem Zusammenhang auch einem hinreichend positiven Selbstkonzept der Lernenden lern- und leistungsförderliche Effekte zugeschrieben werden können (Huang, 2011; Wu et al., 2021).

Forschungsfragen. Mit einem entwickelten simulations- und dialogbasierten Lerncomic (ComicLab) zum Thema Schwimmen, Schweben und Sinken (“Mission Aqua“), der auch experimentierende Lernhandlungen zulässt (angelehnt an Künsting et al., 2013; Salim et al., 2023; s. Jungbluth et al., 2022; Jungbluth et al., 2023), wird im Wesentlichen zwei Forschungsfragen nachgegangen: (1) In einem ersten Schritt wird untersucht, ob durch das Design der Lernumgebung positive motivationale und selbstkonzeptsteigernde

Voraussetzungen für eine erfolgreiche Selbstregulation im Planungsprozess von Experimenten zur Untersuchung des Schwimmverhaltens von Körpern erzielt werden können. (2) Des Weiteren wird in ersten Auswertungen der Hauptstudie überprüft, ob das Konzeptverständnis zur Dichte beim Lernen mit Erklärvideos über die zu untersuchenden Variablen Masse und Volumen durch präsentierte kognitive Impulse (Prompts) signifikant verbessert wird. Auswertungen, inwieweit die Selbstregulation beim eigenständigen Experimentieren mit der Nutzung von VKS durch präsentierte metakognitive Impulse (Prompts) gefördert wird (z.B. im Sinne häufigerer VKS-Nutzung), werden zukünftig erfolgen.

Methodik. *Stichprobe:* An der Hauptstudie nahmen $N = 137$ Schüler:innen der 5. und 6. Jahrgangsstufe aus Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz teil (44.52 % weiblich; 5. Klasse: Alter ($M(SD) = 10.56(1.12)$); 6. Klasse: Alter ($M(SD) = 11.70(0.46)$)). *Design:* Der Hauptstudie liegt ein experimentelles 2x2-Design mit Randomisierung auf Individualebene und Prä-(Delayed)-Post-Messung zugrunde. Mit den zwei Faktoren des Designs (I. Metakognitive Prompts, ja vs. nein; II. Kognitive Prompts, ja vs. nein) liegen vier Gruppen vor: Experimentalgruppe 1 (EG1, $n = 43$) mit metakognitiven Prompts, EG2 ($n = 33$) mit kognitiven Prompts, EG3 ($n = 33$) mit metakognitiven und kognitiven Prompts sowie eine Kontrollgruppe (KG, $n = 28$) ohne Prompts (Normalverteilung der Schüler:innen auf die insgesamt vier Gruppen: $\chi^2(3, N = 137) = 3.467, p = .325$). *Instrumente:* Im Pre-Posttest-Design wurden folgende Instrumente eingesetzt:

Interesses an Lerncomics	Pre & Post	5 Items	$\alpha_{\text{Prä/Post}} = .91/.89$
Naturwissens. Fähigkeits Selbstkonzept	Pre & Post	9 Items	$\alpha_{\text{Prä/Post}} = .84/.91$
Strategiewissen zur Variablenkontrolle	Pre & Post	4 Items	$\alpha_{\text{Prä/Post}} = .58/.55$
Wissenstest	Pre & Post	13 Items	$\alpha_{\text{Prä/Post}} = .59/.71$
Aktuelle Motivation - Interesse	im Comic	4 Items	$\alpha_{\text{Prä/Post}} = .83/.88$
Aktuelle Motivation - Herausforderung	im Comic	4 Items	$\alpha_{\text{Prä/Post}} = .68/.81$
Cognitive Load (metakognitiven Prompts)	Post	4 Items	$\alpha_{\text{Post}} = .70$
Cognitive Load (kognitiven Prompts)	Post	4 Items	$\alpha_{\text{Post}} = .84$

Im Rahmen des oben erläuterten 2x2-Designs wurden die Schüler:innen je innerhalb ihrer Klassen randomisiert den insgesamt vier Gruppen zugewiesen. Anschließend arbeiteten die Schüler:innen in dem digitalen Lerncomic „Mission Aqua“ zum physikalischen Inhaltsbereich „Schwimmen, Schweben und Sinken von Vollkörpern“ (Jungbluth et al., 2022; Jungbluth et al. 2023). *Kognitive Prompts:* Um ein tiefes Verständnis über die später zu untersuchenden Variablen zu erlangen (Chang et al., 2008; Volumen, Masse), werden die Schüler:innen zur Nutzung wirksamer kognitiver Tiefenverarbeitungsstrategien angeregt. Hierbei soll durch kognitive Prompts einerseits das Vorwissen zu den Variablen aktiviert werden sowie die jeweilige Variable in Form einer Selbsterklärung nochmal in eigenen Worten erklärt werden („Überlege dir: Wie würdest du mir den Begriff Volumen in deinen eigenen Worten erklären?“). *Metakognitive Prompts:* Um die zu untersuchenden Variablen später in einem Experiment adäquat, im Sinne der VKS, zu untersuchen, brauchen Schüler:innen, gerade bei komplexen Themen wie das Schwimmverhalten von Vollkörpern, metakognitive

Unterstützung bei der Planung ihrer Experimente, weshalb zwei metakognitive Prompts zur Unterstützung bei der Planung (z.B. „Wie könntest du die Würfel aussuchen, um den Einfluss des Volumens?“) des Experiments und später zur kritischen Reflexion über das vorherige geplante Experiment eingesetzt werden.

Ergebnisse. Lernförderliche Voraussetzungen: Lernende schätzen ihre Fähigkeiten in den Naturwissenschaften vor der Intervention moderat bis hoch ein ($2.05 \leq M \leq 2.25$), ebenso ihr Interesse an Lerncomcis ($1.18 \leq M \leq 1.77$) und die aktuelle Motivation ($1.89 \leq M \leq 2.21$), so dass davon ausgegangen werden kann, dass die Schüler:innen hinreichend hoch motiviert waren und über ein ausreichend starkes Selbstkonzept verfügten, bevor sie mit dem selbstständigen Planen ihrer Experimente begannen (Maximalwert für alle Skalen = 3). Mittels varianzanalytischer Verfahren konnte ein signifikanter Zuwachs des Interesses am Lerncomic ($F(2, 74) = 6.858, p < .002, \eta^2 = 0.085$) von der Pre- zur Inter-Messung verzeichnet werden. Hierbei unterschieden sich die Experimentalgruppen mit einem hohen Interesse unmittelbar nach der Intervention signifikant von der Kontrollgruppe mit geringerem Interesse ($F(3, 102) = 13.166, p = .028, \eta^2 = 0.088$). Das Selbstkonzept verblieb ohne signifikanten Zuwachs konstant in allen Gruppen auf hohem Niveau ($2.10 \leq M \leq 2.26$). Gleiches konnte für die aktuelle Motivation gemessen werden ($1.81 \leq M \leq 2.33$). Wissensakquise: Es konnten keine signifikanten Gruppenunterschiede festgestellt werden, weder zu den Messzeitpunkten (Prä: $F(3, 157) = 0.840, p = .474$; Post: $F(3, 135) = 0.297, p = .827$), noch in den Entwicklungen ($F(3, 133) = 0.68, p = .567$) der Wissensakquise. Grund dafür ist ein signifikanter Lernzuwachs in jeder Gruppe ($F(1, 133) = 30.25, p < .001, \eta^2 = 0.185$), der durch das Vorwissen der Lernenden beeinflusst wird ($F(1, 133) = 26.027, p < .001, \eta^2 = 0.168$). Der ausbleibende Prompteffekt auf den Lernzuwachs dürfte nicht auf kognitive Überforderung durch das Anwenden verschiedener Lernstrategien (Chandler & Schweller, 1991) zurückzuführen sein, da keine signifikanten Gruppenunterschiede im Cognitive Load gemessen wurden ($F(3, 103) = 0.423, p = .737$) (Chandler & Schweller, 1991). Der Cognitive Load bleibt in allen Gruppen moderat auf einem stabilen Niveau. Fehlendes Training in der Lernstrategienutzung könnte die Wirksamkeit der Prompts beeinträchtigt haben, da die Lernenden die nötigen Strategien möglicherweise nicht erfolgreich anwenden konnten, um den vollen Nutzen aus diesen zu ziehen (s. auch Zimmermann, 2002). Auch könnte eine bereits an sich wirksame Lernumgebung die Nutzung der Prompts verringert haben, indem die Lernumgebung aufgrund ihrer motivierenden und grundsätzlichen didaktischen Merkmale das Lernen bereits so fördern konnte, dass eventuell auch dadurch die Prompts als zusätzliche instruktionale Unterstützungsmaßnahmen weniger notwendig wurden. Im Gesamten und in allen vier einzelnen experimentellen Bedingungen zeigen sich für die Lernumgebung „Mission Aqua“ positive Effekte auf Motivation, naturwissenschaftliches Selbstkonzept und Dichteverständnis.

Ausblick

Weitere Untersuchungen sollen klären, wie sich die Verweildauer auf den Promptseiten zwischen den Gruppen unterscheidet, um die tatsächliche Nutzung der Prompts näher in den Blick zu nehmen. Zudem werden Daten zur metakognitiven Wirkung der Prompts auf die Anwendung der Variablenkontrollstrategie und das Strategiewissen analysiert.

Literatur

- Artelt, C., & Wirth, J. (2014). Kognition und Metakognition. In: T. Seidel & A. Krapp (Hg.), *Lehrbuch Pädagogische Psychologie* (S. 167–192). Weinheim: Beltz
- Bannert, M. (2009). Promoting self-regulated learning through prompts. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 23(2), 139-145
- Boom, G., Paas, F., & van Merriënboer, J. J. (2007). Effects of elicited reflections combined with tutor or peer feedback on self-regulated learning and learning outcomes. *Learning and Instruction*, 17(5), 532-548.
- Brandenburger, M., Salim, C. A., Schwichow, M., Wilbers, J., & Mikelskis-Seifert, S. (2022). Modellierung der Struktur der Variablenkontrollstrategie und Abbildung von Veränderungen in der Grundschule. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 28(1), 5
- Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8(4), 293-332.
- Chang, K. E., Chen, Y. L., Lin, H. Y., & Sung, Y. T. (2008). Effects of learning support in simulation-based physics learning. *Computers & Education*, 51(4), 1486-1498
- Chen, Z., & Klahr, D. (1999). All other things being equal: acquisition and transfer of the control of variables strategy. *Child Development*, 70(5), 1098-1120
- Hardy, I., Jonen, A., Möller, K., & Stern, E. (2006). Effects of instructional support within constructivist learning environments for elementary school students' understanding of "floating and sinking.". *Journal of Educational Psychology*, 98, 307-326
- Huang, C. (2011). Self-concept and academic achievement: A metaanalysis of longitudinal relations. *Journal of School Psychology*, 49, 505–528.
- Jungbluth, J., Mikelskis-Seifert, S., & Künsting, J. (2022, September). *Schwimmen und Sinken verstehen durch eine digitale Comic-Lernumgebung*. Beitrag präsentiert an der 49. Tagung der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Aachen, Deutschland.
- Jungbluth, T., Mikelskis-Seifert, S., & Künsting, J. (2023). Schwimmen und Sinken digital verstehen. Untersuchung des Schwimmverhaltens von Körpern im Comic Lab "Mission Aqua." *MNU Journal*, 76(5), 407-413
- Kalyuga, S. (2007). Expertise reversal effect and its implications for learner-tailored instruction. *Educational psychology review*, 19, 509-539
- Kramarski, B., & Dudai, V. (2009). The effects of metacognitive and meta-affective prompts on E-learning environments: A dual perspective. *Educational Media International*, 46(3), 233-246.
- Künsting, J., Kempf, J., & Wirth, J. (2013). Enhancing scientific discovery learning through metacognitive support. *Contemporary Educational Psychology*, 38(4), 349-360.
- Liu, L., Jones, B.F., Uzzi, B. et al. Data, measurement and empirical methods in the science of science. *Nat Hum Behav*, 7, 1046–1058 (2023).
- Mikelskis-Seifert, S., & Duit, R. (2010). Erfolgreicher unterrichten durch „Physik im Kontext“? Die Evaluation des Projektes: Evaluationsdesign und Ergebnisse. In: Duit, R., Mikelskis-Seifert, S.: *Physik im Kontext. Konzepte, Ideen, Materialien für effizienten Physikunterricht*. Sonderband Unterricht Physik, 14-16
- Perkins, D. N., & Grotzer, T. A. (2005). Dimensions of causal understanding: The role of complex causal models in students' understanding of science. *Studies in Science Education*, 41(1), 117-165
- Rheinberg, F., Vollmeyer, R., & Burns, B. D. (2001). FAM: Ein Fragebogen zur Erfassung aktueller Motivation in Lern- und Leistungssituationen (Langversion, 2001). *Diagnostica*, 2, 57-66
- Salim, C. A., Schwichow, M. & Mikelskis-Seifert, S. (2023). Schwimmen und Sinken anhand einer Matrix verstehen. *MNU Journal*, 76(1), 32-35
- Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a self-regulated learner: An overview. *Theory into Practice*, 41(2), 64-70.
- Zimmerman, C., & Croker, S. (2013). Learning science through inquiry. In G. Feist & M. Gorman (Eds.), *Handbook of the psychology of science* (pp. 49–70). New York, NY: Springer