

## **Feedback beim Experimentplanen: Zusammenhänge verschiedener Schüler:innenmerkmale**

### **Theoretischer Hintergrund**

Schüler:innen stehen in Experimentiersituationen, insbesondere bei der Anwendung der Variablenkontrollstrategie (VKS) vor Herausforderungen, was angepasste Lernprozesse erfordert (Scheuermann, 2017; Schwichow et al., 2016). In vorangegangenen Studien hat sich Feedback zu einer Experimentplanung als effektive Lernunterstützung erwiesen (Hild et al., 2020; Scheuermann, 2017; Wollenschläger et al., 2011). Das Geben von Feedback führt jedoch zu kognitiv anspruchsvollen Lernsituationen, da unterschiedliche Informationen verarbeitet und verstanden werden müssen. Dadurch steigt potentiell der Cognitive Load der Schüler:innen.

Um die kognitiven Ressourcen der Schüler:innen nicht auszulasten, kann für die Entwicklung von Feedback die Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML; Mayer, 2001) als Grundlage genutzt werden. Nach der CTML steht ein Kanal für visuell/non-verbal (z.B. Bilder) und ein Kanal für auditiv/verbal (z.B. geschriebener Text) präsentierte Informationen zur Verfügung. Es wird angenommen, dass das Arbeitsgedächtnis voneinander unabhängige visuelle und auditive Komponenten zur kurzfristigen Speicherung hat (Paivio, 1986). Diese Arbeitsgedächtnisspeicher haben jedoch eine begrenzte Kapazität (Chandler & Sweller, 1991). Um die Kapazität nicht auszulasten oder gar zu überlasten, sollte Lernmaterial aus einer Kombination von Texten und Bildern gestaltet werden.

Im Rahmen einer vorangegangenen Studie hat sich Feedback, das Informationen über Texte und Bilder rückmeldet, beim Planen von Experimenten unter Anwendung der VKS als effektiver mit Bezug auf den Cognitive Load von Schüler:innen erwiesen als Feedback, das Informationen nur über Texte oder nur über Bilder rückmeldet (Boegel & Ropohl, 2024). Das Feedback zeichnet sich dadurch aus, dass die Gestaltungsprinzipien der CTML umgesetzt wurden (Mayer, 2001). Neben dem kombinierten Einsatz von Texten und Bildern (Multimedia Principle) sind die zusammengehörenden Texte und Bilder räumlich benachbart abgedruckt (Spatial Contiguity Principle). Zusätzlich sind die Informationen des Feedbacks, auf die besonders geachtet werden soll, mit roten Umrandungen versehen (Signaling Principle). Die Bilder, die im Feedback eingesetzt wurden, haben einen instruktionalen Charakter und bilden den Prozess des adressierten Experiments ab (Coherence Principle). Abschließend wird sprachlich darauf geachtet, dass der Text im aus dem Chemieunterricht bekannten Gesprächsstil formuliert ist und die Schüler:innen direkt adressiert werden (Personalisation Principle).

### **Ziel und Forschungsfragen**

Ziel des Vorhabens ist das Untersuchen des Cognitive Loads von Schüler:innen, wenn diese im Rahmen einer Lerngelegenheit mit Hilfe von Feedback Experimente unter Anwendung der

VKS planen. Das Feedback wird für die Untersuchung gezielt entsprechend der CTML entwickelt und zeichnet sich durch die Umsetzung der Gestaltungsprinzipien aus.

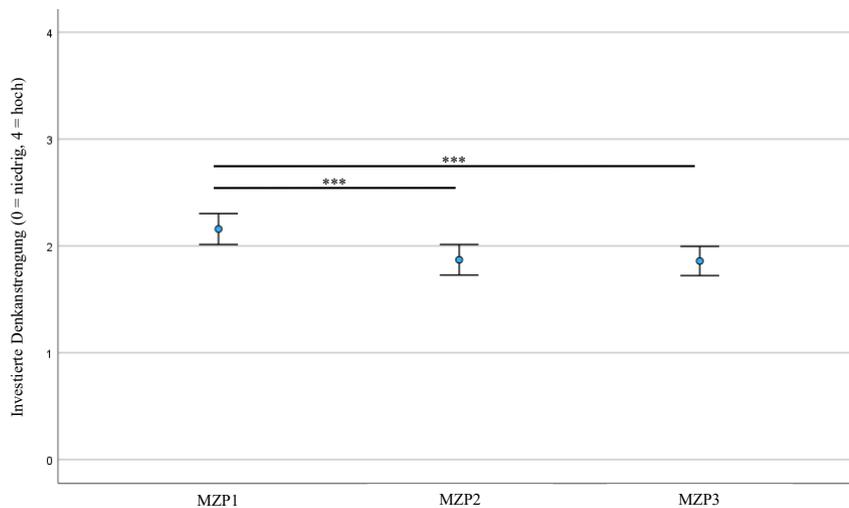
**Forschungsfrage:** Wie hoch ist der Cognitive Load von Schüler:innen im Verlauf einer Lerngelegenheit beim feedbackgestützten Planen von Experimenten unter Anwendung der VKS?

### **Methodisches Vorgehen**

Um die Forschungsfrage zu beantworten, wurde im Herbst 2023 eine Querschnittserhebung durchgeführt, an der  $N = 178$  Schüler:innen aus 9. Klassen nordrhein-westfälischer Gymnasien teilgenommen haben. Die Schüler:innen haben zunächst eine vorgeschriebene Experimentplanung gelesen, welche nicht alle Charakteristika der VKS beinhaltet bzw. richtig umsetzt. Diese Planung wurde basierend auf realen Schülerantworten aus einer vorherigen Studie erstellt. Anschließend haben die Schüler:innen ihren bei dieser Aufgabe empfundenen Cognitive Load (Paas, 1992) eingeschätzt (MZP 1). Nachfolgend haben die Schüler:innen den Feedbackbogen, der Informationen über Texte und Bilder rückgemeldet, gelesen und erneut den bei dieser Aufgabe empfundenen Cognitive Load eingeschätzt (MZP 2). Der Feedbackbogen führt auf, welche Merkmale der VKS bei einer Experimentplanung berücksichtigt werden sollen (Lernziele), welche Merkmale der VKS in der vorgefertigten Experimentplanung bereits berücksichtigt wurden (Lernstand) und welche Merkmale der VKS noch nicht berücksichtigt wurden (nächste Schritte). Im Anschluss daran haben die Schüler:innen mit Hilfe des Feedbackbogens eine Experimentplanung neu geschrieben. Da das Feedback Bezug zu der vorgeschriebenen Experimentplanung nimmt, welche für alle Gruppen gleich ist und nicht auf eine individuelle Schülerantwort fokussiert, kann dieses als simuliertes Feedback bezeichnet werden. Das simulierte Feedback hat den Vorteil, dass ausschließlich die Informationspräsentation von Lernstand und nächsten Schritten variiert wird und der Inhalt des Feedbackbogens für alle Versionen gleich ist. Anschließend haben die Schüler:innen erneut ihren bei dieser Aufgabe empfundenen Cognitive Load eingeschätzt (MZP 3). Außerdem wurden die Kontrollvariablen Fachwissen, kognitive Fähigkeiten (Heller & Perleth, 2000) und Wissen über die VKS (Nehring, 2014) erhoben.

### **Ergebnisse**

Zur Analyse des Cognitive Loads wurde eine univariate Varianzanalyse mit Messwiederholung berechnet. Die investierte Denkanstrengung zu den drei Messzeitpunkten stellt den Innersubjektfaktor dar. Die investierte Denkanstrengung sinkt über die drei Messzeitpunkte ( $M_1 = 2.16$ ,  $SD_1 = .98$ ;  $M_2 = 1.87$ ,  $SD_2 = .97$ ;  $M_3 = 1.85$ ,  $SD_3 = .92$ ). Die Sphärizität der Daten ist gegeben (Mauchly-Test  $p = .51$ ). Die investierte Denkanstrengung unterscheidet sich zu den drei Messzeitpunkten statistisch signifikant ( $F(2,352) = 9.49$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .05$ ). Der Bonferroni-korrigierte post hoc Test zeigt einen statistisch signifikanten Unterschied in der investierten Denkanstrengung zwischen Messzeitpunkt eins und zwei ( $M_{\text{Diff}} = .29$ , 95%-KI [.11, .47],  $p < .001$ ) sowie eins und drei ( $M_{\text{Diff}} = .30$ , 95%-KI [.11, .50],  $p < .001$ ).



**Abb. 1:** Ergebnis der univariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung zur Untersuchung des Cognitive Loads (95% KI)

### Diskussion und Limitation

Der Cognitive Load der Schüler:innen sinkt im Verlauf der Lerngelegenheit. Dies kann wie folgt erklärt werden:

Der Messzeitpunkt 1 beschreibt den Zeitpunkt nach dem Lesen der vorgefertigten Experimentplanung. Zu diesem Zeitpunkt ist der Cognitive Load am höchsten. Die Schüler:innen befinden sich in einer kognitiv anspruchsvollen Situation mit hohem Informationsgehalt. Zum einen müssen sie sich in ein fiktives Szenario hineinversetzen und zum anderen müssen sie sich ausschließlich verbal schriftlich aufbereitete Informationen aneignen, die nicht visualisiert sind (Leutner et al., 2014; Mayer, 2001; Sweller, 1988). Zu Messzeitpunkt 2, nach dem Lesen des Text-Bild Feedbacks, sinkt der Cognitive Load. Die Schüler:innen müssen zunächst relevante Bild- und Textelemente selektieren, diese in einem verbalen bzw. bildhaften mentalen Modell organisieren und abschließend diese beiden mentalen Modelle miteinander und mit Vorwissen aus dem Langzeitgedächtnis in ein gemeinsames mentales Modell integrieren (Mayer, 2001). Durch die Gestaltung des Feedbacks mit Texten und Bildern werden Verarbeitungsprozesse, die nicht zum Erreichen des Lernziels beitragen, minimiert, sodass kognitive Ressourcen für das Ausführen lernförderlicher Prozesse zur Verfügung stehen (Paivio, 1986). Der Zeitpunkt nach der Arbeit mit dem Feedback bzw. nach dem Anwenden des Feedbacks im Rahmen der schriftlichen Experimentplanung stellt Messzeitpunkt 3 dar. Zu diesem Zeitpunkt ist der Cognitive Load signifikant niedriger als zu Messzeitpunkt 1. Durch die lernförderliche Gestaltung des Feedbacks und die daraus resultierende Verarbeitung von Informationen stellt das Anwenden des Feedbacks keine kognitive Hürde mehr dar (Mayer, 2001; Paivio, 1986).

Als eine Limitation dieser Untersuchung kann die eingeschränkte externe Validität angeführt werden. Die Befunde gelten lediglich für das Planen von Experimenten zum Thema elektrische Leitfähigkeit. Ob die Befunde für weitere Experimente gelten ist offen. Zudem kann auch das simulierte Feedback als eine Limitation angeführt werden, da sich die Schüler:innen für die Arbeit mit dem Feedbackbogen in eine fiktive Situation eindenken müssen, was kognitive Ressourcen erfordert.

## Literatur

- Black, P. & Wiliam, D. (1998). Assessment and classroom learning. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, 5(1), 7–75.
- Boegel, S. & Ropohl, M. (2024). Der Einfluss von Feedback auf kognitive und affektive Schüler:innenmerkmale. In H. van Vorst (Hrsg.), *Frühe naturwissenschaftliche Bildung. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung 2023* (Bd. 44, S. 262-265). Verfügbar unter: <https://gdcp-ev.de/tagungsbaende/tagungsband-2024-band-44-2/>.
- Bürgermeister, A., Kampa, M., Rakoczy, K., Harks, B., Besser, M., Klieme, E., Blum, W. & Leiß, D. (2011). *Dokumentation der Befragungsinstrumente des Laborexperimentes im Projekt "Conditions and Consequences of Classroom Assessment" (Co<sup>2</sup>CA)*. Frankfurt am Main: DIPF. <https://doi.org/10.25656/01:3528>
- Chandler, P. & Sweller, J. (1991). Cognitive Load Theory and the Format of Instruction. *Cognition and Instruction*, 8(4), 293–332. [https://doi.org/10.1207/s1532690xci0804\\_2](https://doi.org/10.1207/s1532690xci0804_2)
- Hauerstein, M.-T. (2019). *Untersuchung zur Effektivität von Strukturierung und Binnendifferenzierung im Chemieunterricht der Sekundarstufe I: Evaluation der Strukturierungshilfe Lernleiter*. Berlin: Logos Verlag.
- Heller, K. A. & Perleth, C. (2000). *Kognitiver Fähigkeitstest für 4. bis 12. Klassen, Revision*. Beltz Test GmbH.
- Hild, P., Buff, A., Gut, C. & Parchmann, I. (2020). Adaptives kompetenzbezogenes Feedback beim selbstständigen praktisch-naturwissenschaftlichen Arbeiten. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 26(1), 19–35. <https://doi.org/10.1007/s40573-020-00109-8>
- Kalyuga, S., Chandler, P. & Sweller, J. (1999). Managing split-attention and redundancy in multimedia instruction. *Applied Cognitive Psychology*, 13(4), 351–371. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0720\(199908\)13:4<351::AID-ACP589>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0720(199908)13:4<351::AID-ACP589>3.0.CO;2-6)
- Leutner, D., Opfermann, M. & Schmeck, A. (2014). Lernen mit Medien. In T. Seidel & A. Krapp (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie: Mit Online-Materialien zum Download* (6. Aufl.). Weinheim: Beltz.
- Mayer, R. E. (2001). *Multimedia Learning*. Cambridge: University Press.
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia Learning*. Cambridge: University Press. <https://www.cambridge.org/core/books/multimedia-learning/7A62F072A71289E1E262980CB026A3F9> <https://doi.org/10.1017/CBO9780511811678>
- Nehring, A. (2014). *Wissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen im Fach Chemie: Eine kompetenzorientierte Modell- und Testentwicklung für den Bereich der Erkenntnisgewinnung*. Berlin: Logos Verlag.
- Paas, F. G. W. C. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics: A cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, 84(4), 429–434. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.84.4.429>
- Paivio, A. (1986). *Mental representations: a dual coding approach*. New York: Oxford University Press.
- Ryan, R. M. & Deci, E. L. (2000). Intrinsic and Extrinsic Motivations: Classic Definitions and New Directions. *Contemporary educational psychology*, 25(1), 54–67. <https://doi.org/10.1006/ceps.1999.1020>
- Scheuermann, H. (2017). *Entwicklung und Evaluation von Unterstützungsmaßnahmen zur Förderung der Variablenkontrollstrategie beim Planen von Experimenten*. Berlin: Logos Verlag.
- Schnotz, W. (2009). *Pädagogische Psychologie kompakt*. Weinheim: Beltz PVU.
- Schwichow, M., Croker, S., Zimmerman, C., Höfler, T. N. & Härtig, H. (2016). Teaching the control-of-variables strategy: A meta-analysis. *Developmental Review*, 39, 37–63. <https://doi.org/10.25656/01:12696>
- Sweller, J. (1988). Cognitive Load During Problem Solving: Effects on Learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257–285. [https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202\\_4](https://doi.org/10.1207/s15516709cog1202_4)
- Wollenschläger, M., Möller, J. & Harms, U. (2011). Effekte kompetenzieller Rückmeldung beim wissenschaftlichen Denken. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 25(3), 197–202. <https://doi.org/10.1024/1010-0652/a000040>