

Aufgabenschwierigkeit und Cognitive Load

In der Cognitive Load Theory nimmt man als zentrale kognitive Strukturen des Menschen die Existenz eines sehr limitierten Arbeitsgedächtnisses und eines nahezu unbegrenzten Langzeitgedächtnisses an (Miller, 1965; Sweller, 1994; Schnotz & Kürschner, 2007). Es wird davon ausgegangen, dass die eigentliche Schwierigkeit einer Aufgabe eine intrinsische Belastung mit sich bringt, während andere Faktoren, wie die Aufgabengestaltung und die Art der verwandten Methoden zu einer extrinsischen Belastung des Lernenden führen. Übersteigt die Summe aus beiden einen individuellen Grenzwert, ist die Aufgabe nicht mehr lösbar.

Die vorliegende Studie zielt auf die Untersuchung der durch die Cognitive Load Theorie vorhergesagten Schwelle des Arbeitsgedächtnisses beim Lösen physikalischer Aufgaben. Dabei werden mögliche Faktoren, die zu einer extrinsischen Belastung führen können, wie die Gestaltung der Aufgabe, möglichst konstant gehalten und Faktoren, die zu einer intrinsischen Belastung führen können, variiert. Dazu zählt die Elementinteraktivität von Elementen, die für das Lösen der Aufgabe notwendig sind. Sie ist hoch, wenn verschiedene Informationen nicht unabhängig voneinander betrachtet und daher simultan verarbeitet werden müssen (Sweller et al., 2011). Einer ähnlichen Struktur folgen die Komplexitätsniveaus von Aufgaben aus (Kauertz, 2008) zu denen beispielsweise Fakten und Zusammenhänge gehören. Ein anderes Maß für die Aufgabenkomplexität verwendet die Anzahl der Lösungsschritte, welche die am wenigsten erfahrenen Lernenden zur Lösung der Aufgabe benötigen (Johnstone et al., 1986). In beiden Maßen wird davon ausgegangen, dass Faktoren wie die Tatsache, ob Gleichungen umgeformt werden müssen, ihre Anzahl, Einheiten und zu berücksichtigende Teilergebnisse für Komplexität sorgen.

Da diese verschiedenen Informationen zur Lösung der Aufgabe in ihrer Interaktion verarbeitet werden müssen, ist zu erwarten, dass komplexere Aufgaben zu einer höheren Elementinteraktivität führen, was sich in einem höheren intrinsischen Load äußern sollte (Sweller et al., 2011).

In vorhergehenden Studien konnte anhand deskriptiver Daten gezeigt werden, dass der Anteil gelöster Aufgaben mit Zunahme der Aufgabenkomplexität, welche über die Lösungsschritte definiert war, nichtlinear und rapide absinkt. Dieser Effekt konnte sowohl bei Aufgaben aus der Chemie (Johnstone et al., 1986), als auch bei physikalischen Aufgaben (Stindt et al., 2014) beobachtet werden. In keine der den Autoren bekannten Studien wurde jedoch untersucht, ob diese Beobachtung mit einem erhöhten Cognitive Load einhergeht.

Basierend auf diesen vorangegangenen Studien wurden mit sieben Aufgaben aus der Mechanik mit variierender Anzahl an Lösungsschritten Z die wahrgenommene mentale Anstrengung als Indikator für den Cognitive Load (Paas, 1992) erhoben. Es soll die Frage untersucht werden, ob sich die höhere Komplexität in einer höheren kognitiven Belastung widerspiegelt. Darüber hinaus wird diskutiert, ob mit zunehmenden Lösungsschritten ein Schwellenverhalten des Cognitive Load festzustellen ist.

¹ Im Dezember 2016 änderte sich der Nachname des Autors von „Trottenberg“ zu „Jaeger“.

Hypothesen

In der vorliegenden Studie wurden folgende Hypothesen untersucht:

- H1: Aufgaben hoher Komplexität ($Z \geq 6$)² sorgen für einen höheren Cognitive Load³, als Aufgaben niedrigerer Komplexität ($Z \leq 5$).
- H2: Der gelöste Aufgabenanteil einer Aufgabe hoher Komplexität ($Z \geq 6$) ist kleiner als jener leichter (er) ($Z \leq 5$) Aufgaben.

Untersuchungsdesign und Erhebung

Die Untersuchung fand mit einer heterogenen Gelegenheitsstichprobe ($N = 44$; 11♀; 32♂) an der TU Braunschweig und der Universität Bielefeld statt. Bei den Teilnehmenden handelte es sich um Studierende der Fachphysik und verschiedener Lehramtsstudiengänge mit Haupt- oder Nebenfach Physik. Alle Probanden und Probandinnen hatten die Vorlesung zur Mechanik bereits abgeschlossen, nahmen freiwillig an der Studie teil und befanden sich im Mittel im fünften Fachsemester ($M = 5,5$; $SD = 2,0$).

Zur Bearbeitung der sieben Aufgaben zur Mechanik standen 60 Minuten Zeit zur Verfügung, welche frei eingeteilt werden konnte. Die unabhängige Variable war die Aufgabenkomplexität Z in den Ausprägungen 3 bis 9. Als abhängige Variablen wurden der gelöste Aufgabenanteil sowie die bei der Bearbeitung der jeweiligen Aufgabe empfundene mentale Anstrengung als Indikator für den Cognitive Load erhoben.

Die mentale Anstrengung wurde mit der 9-stufigen Skala nach (Paas, 1992) und der gelöste Aufgabenanteil mit Hilfe eines vor der Untersuchung festgelegten Auswertungsbogens erhoben.

Ergebnisse

In Bezug auf H1 konnte beobachtet werden, dass sich die Mittelwerte des Cognitive Load (vgl. Abb. 1) in den jeweiligen Aufgaben unterscheiden scheinen. Da die Daten häufig u-förmig- und damit nicht normalverteilt sind, wurde ein Friedman-Test verwendet, um zu testen, ob sich die zentralen Tendenzen der Variablen Cognitive Load bei den Aufgaben unterscheiden. Beim Friedman-Test handelt es sich um das nicht-parametrische Äquivalent zur einfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung. Es zeigte sich, dass solche Unterschiede zu den verschiedenen Messzeitpunkten (Aufgaben) statistisch hochsignifikant existieren, $\chi^2(6, N = 16) = 39,1$; $p < 0,0001$.

Die gezielte Testung von H1 erfolgte mit Hilfe von a-priori Kontrasten im Rahmen der Kontrastanalyse. Es zeigte sich hochsignifikant

und mit einer großen Effektstärke (Cohen, 1992), dass die Bearbeitung der Aufgaben hoher Komplexität mit einem größeren Cognitive Load einhergehen, als jene niedriger Komplexität, $t(15) = 7,4$; $p < 0,001$; $d = 1,90$. Dadurch lässt sich H1 als bestätigt ansehen.

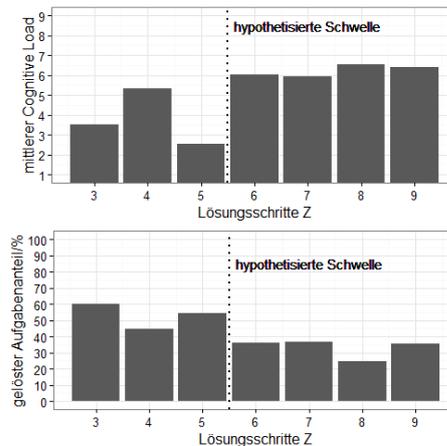


Abb. 1: Cognitive Load und gelöster Aufgabenanteil über die Lösungsschritte⁴

² Bei der Lokalisierung der hypothetisierten Schwelle zwischen $Z=5$ und $Z=6$ wurde sich an den Ergebnissen von (Stindt et al., 2014) und (Johnstone et al., 1986) orientiert.

³ Im Folgenden werden Cognitive Load und die empfundene mentale Anstrengung synonym verwendet.

⁴ Bedingt durch die u-förmige Verteilung, wurde hier auf die Angabe eines Streuungsmaßes verzichtet.

Die Daten zur Untersuchung von H2 waren ebenfalls in vielen Aufgaben nicht normalverteilt, sodass auch hier ein Friedman-Test zum Einsatz kam. Dieser offenbarte auch in Bezug auf den gelösten Aufgabenanteil (Performance) statistisch hochsignifikante Unterschiede, $\chi^2(6, N = 44) = 26,2; p < 0,0001$. Die gezielte Testung im Rahmen einer Kontrastanalyse zeigte hochsignifikant und mit einer mittleren Effektstärke (Cohen, 1992), dass die Bearbeitung der Aufgaben hoher Komplexität mit einer schlechteren Performance einhergehen, als jene niedriger Komplexität, $t(43) = 4,3; p < 0,001; d = 0,65$. Auch H2 konnte damit bestätigt werden, jedoch mit einer deutlich geringeren Effektstärke im Vergleich zu H1.

Diskussion und Einschränkungen der Studie

Bei der Bewertung der Studie sollten verschiedene Aspekte berücksichtigt werden. Es kann festgehalten werden, dass die Hypothesen im Einklang mit der Cognitive Load Theorie bestätigt werden konnten.

Jedoch sind verschiedene Dinge kritisch zu betrachten. Zum einen ist zu beachten, dass beim Test zur Prüfung von H1 nur 16 Probandinnen und Probanden berücksichtigt wurden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass hier nur diejenigen Teilnehmenden berücksichtigt werden konnten, die bei allen Aufgaben das Item zum Cognitive Load beantworteten. Bei der zweiten Hypothese konnten alle Teilnehmenden verwendet werden, da ein leeres Blatt mit null Punkten codiert wurde. An dieser Stelle wäre eine genauere Untersuchung ratsam, um zu klären, warum ein Großteil der Studierenden nicht bei jeder Aufgabe eine Angabe beim Item zum Cognitive Load machte und aus welchen Gründen manche Aufgaben unbearbeitet abgegeben wurden.

Zum anderen ist das Maß der Komplexität, die Anzahl der Lösungsschritte, kritisch zu betrachten. Die Einteilung in Lösungsschritte erscheint nicht vollständig objektiv, selbst wenn man sich an den am wenigsten erfahrenen Lernenden orientiert. Für weitere Untersuchungen unter der Berücksichtigung von Lösungsschritten als Maß der Komplexität sollte daher mit Hilfe von unabhängigen Ratern die Interrater-Reliabilität bei der Einteilung der Schritte genauer geprüft werden. Außerdem sollte berücksichtigt werden, dass die Lösungsschritte wohl kein äquidistantes Komplexitätsmaß darstellen, d.h. verschiedene Schritte können verschieden komplex sein.

Diese Punkte erscheinen vor dem Hintergrund der vorliegenden Studie jedoch als nicht sehr problematisch, da im Rahmen der Hypothesen praktisch nur zwischen hoher und geringer Komplexität unterschieden wurde. Lediglich im Grenzbereich von $Z = 5$ ist davon auszugehen, dass Aufgaben mit einem solchen Zuordnungsschema anders bewertet würden, als hier geschehen.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse der Studie weisen darauf hin, dass sich hinter der Aufgabenkomplexität und dem Cognitive Load eine Steuerungsmöglichkeit verbirgt, Aufgaben besser an die Lernenden anzupassen.

Anhand zukünftiger Studien sollte geklärt werden, wie diese Anpassung mittels des Cognitive Load genauer geschehen kann. Die Ergebnisse sollten nicht so interpretiert werden, dass den Lernenden zukünftig nur Aufgaben mit niedriger Komplexität zur Verfügung gestellt werden sollten. Aus Sicht der Cognitive Load Theorie ist es vielmehr ratsam, Aufgaben so individuell an den Lernenden anzupassen, dass er oder sie über die Bereitschaft verfügt, sich damit auseinander zu setzen und dabei eine gewisse kognitive Belastung empfindet. Erst wenn diese hinreichend groß ist, kann es zu Prozessen kommen, die allgemein als lernförderlich gelten, wie den Aufbau semantischer Netze (Friege, 1999), die bewusste Anwendung von Strategien, Abstrahierungen von Schemata, Umstrukturierungen von Repräsentationen des Problems, sowie metakognitive Prozesse (Schnotz & Kürschner, 2007).

Literatur

- Cohen, J. (1992). A Power Primer. *Psychological Bulletin* 112(1), S.155-159.
- Friege, G., Lind, G., Reinhold, P. (1999). Wissenszentriertes Problemlösen in der Physik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, Jg. 5, Heft 1, S.41-62.
- Johnstone, A. H., El-Banna, H. (1986). Capacities, demands and processes – A predictive model for science education. *Education in Chemistry*, 23, S. 80-84.
- Kauertz, A. (2008). Schwierigkeitserzeugende Merkmale physikalischer Leistungstestaufgaben. *Studien zum Physik- und Chemielernen*, Band 79.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological review*, 63 (2), 81.
- Paas, F. (1992). Training Strategies for Attaining Transfer of Problem-Solving Skill in Statistics: A Cognitive Load Approach. *Journal of Educational Psychology*, Vol. 84, No. 4, 429-434.
- Schnotz, W., Kürschner, C. (2007). A Reconsideration of Cognitive Load Theory. *Educational Psychology Review*, 19 (4), 469-508.
- Stindt, F., Strahl, A., Müller, R. (2014). Chunks in Chemie-und Physikaufgaben-Zusammenhang zwischen Gedächtniskapazität und Aufgabenkomplexität. *PhyDid B – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*.
- Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and Instruction*, 4 (4), 295-312.
- Sweller, J., Ayres, P., Kalyuga S. (2011). *Cognitive Load Theory*. Springer New York Dordrecht Heidelberg London.