

Transfer von Schaltbildern zu elektrischen Schaltungen

Der Transfer kann als Fähigkeit bezeichnet werden, abstrakte Darstellungen wie Schaltbilder in reale elektrische Schaltungen zu überführen. Neben fachlichem Wissen erfordert dies auch ein ausgeprägtes topologisches Vorstellungsvermögen. Dies stellt Lernende jedoch häufig vor eine Herausforderung. Der aktuelle Forschungsstand zeigt, dass zwar beide Teilaspekte, der Umgang mit Schaltbildern (McDermott & Shaffer, 1992) sowie der Aufbau realer Schaltungen (Nepper & Geißel, 2020), untersucht wurden, eine explizite Verknüpfung beider Teile jedoch fehlt. Die vorliegende Untersuchung setzt an diesem Punkt an und geht der Forschungsfrage nach, wie Kabeltyp und Schaltbildkomplexität die Funktionalität der realen Schaltung sowie die kognitive Belastung beim Transfer beeinflussen. In einem 2×2-faktoriellen Studiendesign bauten Lernende dazu reale Schaltungen anhand vorgegebener Schaltbilder auf. Ziel war es zudem, das räumliche Denkvermögen als Prädiktor für einen erfolgreichen Transfer zu untersuchen.

Studiendesign

Die Untersuchung wurde mit 68 Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I durchgeführt, die alle in der Jahrgangsstufe 9 an hessischen Gymnasien zur Schule gingen, und erfolgte im Rahmen einer 45-minütigen Schulstunde. Zum Zeitpunkt der Untersuchung wurde in allen untersuchten Schulklassen das Thema Elektrizität und Stromkreise behandelt, sodass davon auszugehen war, dass alle Teilnehmenden bereits Grundkenntnisse in diesem Thema hatten.

Zwei Faktoren wurden jeweils in zwei Ausprägungen variiert, wodurch sich ein 2×2-faktorielles Studiendesign ergab.

- **Kabeltyp:** Die eine Hälfte der Teilnehmenden arbeitete mit klassischen Experimentierkabeln, wie sie auch im traditionellen Unterricht eingesetzt werden. Die andere Hälfte erhielt modifizierte Kabel, die aus zwei klassischen Experimentierkabeln bestanden und durch eine Steckverbindung mit Buchse verbunden waren. Dadurch ergab sich mittig ein Knotenpunkt als möglicher Anschlusspunkt weiterer Kabel.
- **Schaltbildkomplexität:** Der zweite Faktor betraf den Schwierigkeitsgrad des Schaltbildes. Neben der klassischen Darstellung einer Parallelschaltung zweier Glühlampen mit Knotenpunkten wurde eine weitere Variante entwickelt, bei der auf Knotenpunkte gänzlich verzichtet wurde.

Gruppe A: Schaltbild ohne Knotenpunkte und Standardkabel	Gruppe B: Schaltbild ohne Knotenpunkte und modifizierten Kabeln
Gruppe C: Schaltbild mit Knotenpunkten und Standardkabel	Gruppe D: Schaltbild mit Knotenpunkten und modifizierten Kabeln

Es wurde der Einfluss dieser Faktoren auf folgende abhängige Variablen untersucht: Erfolg des Transfers (funktionale Schaltung), Bearbeitungszeit, kognitive Belastung und räumliches Denkvermögen. Zur Erfassung der kognitiven Belastung wurde eine überarbeitete Version der

CL-Skala nach Leppink et al. (2014) verwendet, welche über 13 Items mit je 11 Ausprägungen zwischen den drei Dimensionen kognitiver Belastung differenziert und für die Untersuchung aus dem Englischen ins Deutsche übersetzt wurde. Die Werte sind dabei relativ zwischen den Gruppen zu vergleichen. Das räumliche Denkvermögen wurde mit dem PSVT:R (Yoon, 2011) erhoben, welcher wegen ökonomischer Gründe auf 10 Items mit einer Bearbeitungszeit von 5 Minuten gekürzt wurde.

Die Schülerinnen und Schüler nahmen in Zweierteams an der Aufgabenstellung teil, füllten die Fragebögen zur kognitiven Belastung und zum räumlichen Denkvermögen jedoch einzeln aus. Die Zuweisung in die Teams erfolgte zufällig. Im anschließenden Interventionsteil bekamen die Gruppen das jeweils gruppenspezifische Material. Die Aufgabe bestand darin, dass vorgelegte Schaltbild eigenständig in eine reale Schaltung zu überführen. Dabei wurde die Bearbeitungszeit erfasst. Die Teams bekamen zudem keine Spannungsquelle, um nicht nach Trial-and-Error-Methode arbeiten zu können. Erst wenn ein Team die Schaltung fertig aufgebaut und die Zeit gestoppt hatte, durften sie ihre Schaltung abschließend testen. Zum Abschluss gaben die Schülerinnen und Schüler die Selbsteinschätzung zur empfundenen kognitiven Belastung ab und füllten den Test zum räumlichen Denkvermögen aus.

Für den Erfolg des Transfers wurde durch den Testleiter überprüft, ob die Schaltung korrekt und funktional aufgebaut wurde. Die Funktionalität der Schaltung konnte auf den Transfer zurückgeführt werden, da Fehlersuchprozesse durch das Studiendesign ausgeschlossen waren. Die Auswertung der Erfolgswahrscheinlichkeit des Transfers wurde mit einer binären logistischen Regression untersucht, die Einflüsse von Bearbeitungszeit, kognitiver Belastung und dem räumlichen Denkvermögen als Kovariate mit einer multivariaten Kovarianzanalyse (MANCOVA).

Ergebnisse und Diskussion

Alle 68 Datensätze konnten ausgewertet werden. Die deskriptive Statistik der abhängigen Variablen nach Gruppen aufgeschlüsselt ist in Tabelle 1 zu sehen.

Tabelle 1 Deskriptive Statistiken ($M \pm SD$) der abhängigen Variablen

	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C	Gruppe D
Intrinsische Kog. B.	2.2 ± 1.0	2.4 ± 1.1	1.9 ± 0.7	2.5 ± 1.6
Zusätzliche Kog. B.	2.5 ± 1.5	2.8 ± 1.5	2.0 ± 1.2	2.3 ± 1.6
Lernbezogene Kog. B.	2.9 ± 1.5	3.6 ± 2.0	3.1 ± 1.9	4.2 ± 1.9
Räuml. Denkv.	4 ± 1	6 ± 1	5 ± 2	4 ± 2
Bearbeitungszeit [s]	77 ± 70	190 ± 125	57 ± 23	68 ± 54
Erfolg	83 %	47 %	100 %	88 %

Etwa 80 % der Teilnehmenden bauten eine funktionale Parallelschaltung auf. Dabei zeigte sich bereits, dass Lernende der Gruppe C (Kontrollgruppe) fehlerfreie Schaltungen aufbauten, während Gruppe B die höchste Fehlerquote als auch durchschnittliche Bearbeitungszeit hatte. Weder der Kabeltyp noch die Schaltbildkomplexität hatten einen signifikanten Einfluss auf diesen Erfolg.

Die Bearbeitungszeit stellte den deutlichsten signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen dar. Lernende der Gruppe B benötigten signifikant länger als alle anderen. Dies deutet somit darauf hin, dass der Einsatz modifizierter Kabel in Verbindung mit einem Schaltbild ohne Knotenpunkte zu einer erhöhten Bearbeitungszeit führt.

Hinsichtlich der kognitiven Belastung zeigten sich dagegen keine signifikanten Gruppenunterschiede. Im Mittel war die intrinsische und zusätzliche kognitive Belastung über alle Gruppen hinweg annähernd gleich, während die lernbezogene Belastung in Gruppe D am größten war. In der binären logistischen Regression erwies sich allein die intrinsische kognitive Belastung als signifikanter Prädiktor für den Transfererfolg (Odds Ratio = .246; $p = .005$). Mit steigender intrinsischer Belastung sank die Wahrscheinlichkeit, eine funktionale Schaltung aufzubauen. Dies lässt vermuten, dass Lernende, die diese Aufgabe als weniger anspruchsvoll wahrnahmen, erfolgreicher waren.

Das räumliche Denkvermögen verteilte sich über alle Gruppen hinweg normal und zeigte keinen signifikanten Einfluss auf Bearbeitungszeit, kognitive Belastung oder den Transfererfolg.

Insgesamt weisen die Ergebnisse darauf hin, dass die beobachteten Effekte in erster Linie auf Unterschiede in der Bearbeitungszeit zurückzuführen sind. Neue, ungewohnte Materialien können nicht nur zusätzliche kognitive Belastung hervorrufen, sondern auch die intrinsische kognitive Belastung erhöhen, was den Transferprozess erschwert.

Limitationen und Ausblick

Die genannten Ergebnisse sind vor dem Hintergrund mehrerer Limitationen zu betrachten. Die Stichprobengröße von 68 begrenzt die statistische Aussagekraft, vor allem für mögliche kleine Effekte. Auch die geringe inhaltliche Komplexität der Parallelschaltung könnte ein Grund sein, warum sich räumliches Denkvermögen sowie zusätzliche und lernbezogene kognitive Belastung nicht als Prädiktoren für den Transfererfolg erwiesen haben. Zusätzlich war es eine notwendige Bedingung, dass die Lernenden bereits mit dem Thema vertraut waren. Dies führte jedoch auch dazu, dass sie geübt in der Nutzung der Standardmaterialien waren. Unter anderem wurden die modifizierten Kabel von vielen Lernenden nicht wie angedacht verwendet, was auch an einer fehlenden Einführung liegen könnte. Das Schaltbild ohne Knotenpunkte wurde zudem mehrmals als Reihenschaltung fehlinterpretiert. Insgesamt könnten diese Designentscheidungen damit unbeabsichtigte Effekte gehabt haben.

Die Arbeit stellt einen ersten Schritt dar, den Transfer und die begleitenden Probleme zu erfassen. Dazu wären künftig zunächst qualitative Untersuchungen empfehlenswert, um ein tieferes Verständnis für die Vorstellungen der Lernenden zu Knotenpunkten sowie dem topologischen Denken zu bekommen und mögliche Probleme zu identifizieren. Hierzu eignen sich halbstrukturierte Interviews oder Think-Aloud-Protokolle, bei denen Lernende ihre Überlegungen während des Aufbaus einer Schaltung verbal äußern. Auch ein umgekehrtes Vorgehen, das Skizzieren eines Schaltbildes nach einem vorliegenden realen Aufbau, könnte Einblicke in den Transfer geben.

Literatur

- Leppink, J., Paas, F., van Gog, T., van der Vleuten, C. P. M. & van Merriënboer, J. J. G. (2014). Effects of pairs of problems and examples on task performance and different types of cognitive load. *Learning and Instruction*, 30, 32-42.
- McDermott, L. C. & Shaffer, P. S. (1992). Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity, Part I: Investigation of student understanding. *American Journal of Physics*, 60, 994-1003.
- Nepper, H. & Geißel, B. (2020). Die Situierung von Fehlersuchprozessen an elektronischen Schaltungen. In B. Geißel & T. Gschwendtner (Hrsg.), *Einblicke in aktuelle Forschungsarbeiten der Technikdidaktik* (Bd. 6, S. 67-90).
- Yoon, S. Y. (2011). *Psychometric properties of the Revised Purdue Spatial Visualization Tests: Visualization of rotations (the Revised PSVT:R)*. (Unveröffentlichte Dissertation). Purdue University.