

Lernen mit digitalen Medien - eine psychologische Perspektive

Schwepe, Judith

Erstveröffentlichung / Primary Publication

Sammelwerksbeitrag / collection article

Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Schwepe, J. (2021). Lernen mit digitalen Medien - eine psychologische Perspektive. In M. Seifert, & S. Jöckel (Hrsg.), *Bildung, Wissen und Kompetenz(-en) in digitalen Medien: Was können, wollen und sollen wir über digital vernetzte Kommunikation wissen?* (S. 57-68). Berlin <https://doi.org/10.48541/dcr.v8.3>

Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer CC BY Lizenz (Namensnennung) zur Verfügung gestellt. Nähere Auskünfte zu den CC-Lizenzen finden Sie hier:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>

Terms of use:

This document is made available under a CC BY Licence (Attribution). For more information see:

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

Empfohlene Zitierung: Schweppe, J. (2021). Lernen mit digitalen Medien – eine psychologische Perspektive. In M. Seifert & S. Jöckel (Hrsg.), *Bildung, Wissen und Kompetenz(-en) in digitalen Medien. Was können, wollen und sollen wir über digital vernetzte Kommunikation wissen?* (S. 57–68). <https://doi.org/10.48541/dcr.v8.3>

Zusammenfassung: Wie beeinflusst der Einsatz digitaler Medien das Lernen? Welche Rolle spielen dabei die Beschränkungen des kognitiven Systems und Annahmen darüber, wie man gut lernt? Diese Fragen werden in diesem Beitrag aus gedächtnis- und lernpsychologischer Perspektive adressiert. Der Fokus liegt dabei zum einen darauf, wie die Beschränkungen in der Aufmerksamkeitszuweisung und der Gedächtniskapazität der Lernenden berücksichtigt werden können, und zum anderen auf der Frage, wie besonders langfristiges Lernen gefördert werden kann. Näher eingehen werde ich auf kognitive Theorien des (multimediale) Lernens, auf das Konzept der wünschenswerten Erschwernisse beim Lernen, auf das sogenannte *Cognitive Offloading* – die Auslagerung kognitiver Prozesse in die Umwelt, z. B. auf digitale Medien – und auf Bezüge zwischen diesen Themen.

Lizenz: Creative Commons Attribution 4.0 (CC-BY 4.0)

Judith Schweppe

Lernen mit digitalen Medien – eine psychologische Perspektive

1 Lernen mit digitalen Medien – eine psychologische Perspektive

Welche Rolle spielen digitale Medien beim Wissenserwerb? Aus einer gedächtnis- und lernpsychologischen Perspektive ist es dafür entscheidend zu wissen, wie sich der Medieneinsatz auf kognitive Prozesse beim Lernen auswirkt. In der Lehr-Lern-Forschung herrscht weitgehend Einigkeit darüber, dass der Wissenserwerb nicht per se vom Einsatz digitaler Medien profitiert (R.C. Clark & Mayer, 2016; R. E. Clark, 1994). Daher stellt sich primär die Frage, welche Möglichkeiten diese – über analoge Medien hinaus – bieten, Lernprozesse anzustoßen. Gleichzeitig kann die Verfügbarkeit digitaler Medien aber auch Lernprozesse beeinträchtigen. Aus dieser Perspektive werde ich im folgenden Beitrag die Rolle digitaler Medien beim selbst- und fremdgesteuerten Lernen adressieren und mich dabei auf solche Themen fokussieren, die einen kognitionspsychologischen Bezug aufweisen. Dabei nehme ich zunächst Bezug auf Forschung zur Gestaltung multimedialer Lernumgebungen und, auf der Grundlage aktueller Herausforderungen in diesem Forschungsfeld, im Anschluss auf einen Ansatz aus der Gedächtnispsychologie. Abschließend steht die Rolle digitaler Medien beim sogenannten *cognitive offloading*, der Verlagerung kognitiver Prozesse in die Umwelt, im Fokus.

2 Gestaltung multimedialer Lernumgebungen unter Berücksichtigung kognitiver Prozesse des Wissenserwerbs

Computerunterstütztes Lernen bietet viele technische Möglichkeiten der Informationsdarbietung. Kognitiv inspirierte Lerntheorien wie die *Cognitive Load Theory* von John Sweller (Paas & Sweller, 2014; Sweller, Ayres, & Kalyuga, 2011) und die *Cognitive Theory of Multimedia Learning* von Richard Mayer (Mayer, 2009, 2014) haben sich jedoch zum Ziel gesetzt, bei der Gestaltung multimedialer Lernmaterialien nicht nur die technischen Möglichkeiten in den Blick zu nehmen, sondern auch die kognitiven Prozesse und die kognitiven Einschränkungen auf Seiten der Lernenden. Diese Theorien haben wesentlich dazu beigetragen, Gestaltenden multimedialer Lernumgebungen zu verdeutlichen, dass es für den Lernprozess hilfreich sein kann, auf akustische und visuelle Effekte – wie Hintergrundgeräusche, das Einfliegen von Überschriften oder deren Einkrabbeln in Form der Ameisenkolonne – zu verzichten, um die Lernenden bei der Verarbeitung der Informationen nicht zu überlasten.

Der Fokus dieser Theorien liegt dabei auf dem Arbeitsgedächtnis, einem hypothetischen kognitiven Konstrukt, dem eine entscheidende Rolle in der menschlichen Informationsverarbeitung zugeschrieben wird, vom Sprachverstehen über Kopfrechnen zu Denken, Planen und Lernen (Baddeley, 2012; Cowan, 2014; Engle, Kane, & Tuholski, 1999; Oberauer et al., 2018). Angenommen wird, dass hier im Sinne einer mentalen Werkbank oder eines mentalen Arbeitsplatzes (*mental workspace*) Informationen kurzfristig gespeichert und manipuliert werden. Hierunter fällt jegliche Veränderung der gespeicherten Informationen, etwa ein Aktualisieren der Zwischenergebnisse beim Kopfrechnen oder der sukzessive Aufbau einer mentalen Vorstellung während des Lesens eines Textes. Der Bedeutung des Arbeitsgedächtnisses im Informationsverarbeitungsprozess steht allerdings dessen gleichzeitig angenommene Kapazitätsbeschränkung gegenüber (Miller, 1956; Oberauer, Farrell, Jarrold, & Lewandowsky, 2016): Die begrenzte Verarbeitungskapazität des Arbeitsgedächtnisses sorgt wie eine Art Flaschenhals dafür, dass zu einem Zeitpunkt nur wenige Informationen gleichzeitig weiterverarbeitet werden können. Sie gilt daher als entscheidender Faktor, der die Komplexität unserer Gedanken (Halford, Cowan, & Andrews, 2007; Oberauer, 2009) und den Erwerb neuen Wissens und neuer Fähigkeiten im

Langzeitgedächtnis und damit die Fähigkeit zu lernen beschränkt (Cowan, 2014; Mayer, 2014; Sweller, Van Merriënboër, & Paas, 1998).

Für die Gestaltung multimedialer Lernumgebungen ergibt sich aus diesen Annahmen die Empfehlung, das Arbeitsgedächtnis während des Lernens nicht zu sehr zu belasten und somit etwa überflüssige Informationen wie interessante, aber irrelevante Details oder rein dekorative Bilder, sog. *seductive details* (Garner, Gillingham, & White, 1989), nicht in das Lernmaterial zu integrieren. Das Arbeitsgedächtnis kann aber durch die Nutzung multimedialer Gestaltungsmöglichkeiten auch gezielt entlastet werden, etwa indem sprachliche Inhalte im auditiven Format präsentiert werden. Dieser Vorteil einer mündlichen gegenüber einer schriftlichen Textdarbietung, wenn diese mit Bildern oder Animationen kombiniert werden, ist unter dem Namen Modalitätseffekt bekannt (Moreno & Mayer, 1999). Dieser ist dann besonders stark ausgeprägt, wenn Text und Visualisierung gleichzeitig präsentiert werden (Moreno & Mayer, 1999). Anders als bei visueller Textdarbietung ist es bei auditiver Textdarbietung möglich, gleichzeitig eine Animation oder Illustration anzuschauen und den begleitenden Text zu verfolgen. Wie mit einem *Audio Guide* beim Museumsbesuch können die Lernenden so vom Text durch das Bild oder die Animation geleitet werden, ohne den Blick immer wieder zwischen Bild und Text wechseln und sich zwischendurch merken zu müssen, was sie gerade gelesen haben oder wo im Bild sich was befand. Hier zeigt sich ein besonderer Nutzen des Einsatzes digitaler Medien, da diese klassischen Lernmedien wie Büchern die Möglichkeit voraushaben, Texte auditiv und parallel zu Visualisierungen darzubieten.

3 Aktuelle Herausforderungen kognitiver Multimediatheorien

Die Vorhersagen der *Cognitive Load Theory* (Sweller et al., 2011) und der *Cognitive Theory of Multimedia Learning* (Mayer, 2014) sind anhand von computerbasierten Lernumgebungen vielfach empirisch geprüft worden und münden in evidenzbasierte Empfehlungen zu deren Gestaltung (für einen Überblick s. Mayer, 2017; Mayer & Moreno, 2003). Gleichzeitig stehen die Theorien aber vor einigen Herausforderungen.

Zum einen wird die Robustheit der empirischen Grundlage für diese Empfehlungen zunehmend infrage gestellt. In den letzten Jahren häuften sich Studien,

die Befunde wie den Modalitätseffekt nicht replizieren konnten (s. ein Sonderheft der Zeitschrift für Pädagogische Psychologie, herausgegeben von Schüler, Scheiter, & Schmidt-Weigand, 2011). Darüber hinaus gibt es Hinweise darauf, dass ein Publikationsbias die Literaturlage im Forschungsfeld beeinflusst, demzufolge solche Studien erhöhte Veröffentlichungschancen haben, die den Vorhersagen entsprechende und statistisch signifikante Ergebnisse berichten (Cooper, DeNeve, & Charlton, 1997; Lindow et al., 2011). Zudem hat die Forschung zum multimedialen Lernen zwar den Anspruch auf hohe externe Validität, allerdings weisen typische Untersuchungsparadigmen zum multimedialen Lernen einige Charakteristika auf, die Anlass geben, die Generalisierbarkeit auf authentische Lernsituationen infrage zu stellen. So ist in den Experimentalstudien etwa die Lernzeit in der Regel nicht unter der Kontrolle der Lernenden – Lernvideos können nicht pausiert, langsamer oder erneut abgespielt werden – und das erworbene Wissen wird fast ausschließlich direkt im Anschluss an die Lernphase überprüft. In Bezug auf den Modalitätseffekt hat sich für diese beiden Faktoren gezeigt, dass dieser sich sogar in einen Vorteil für geschriebene Texte umkehrt, wenn die Lernenden selbst bestimmen, wie lange sie sich mit dem Lernmaterial beschäftigen (Tabbers, 2002) oder wenn ihr Wissen erst nach einigen Tagen oder einer Woche abgefragt wird (Schweppe & Rummer, 2016; Segers, Verhoeven, & Hulstijn-Hendrikse, 2008). Diese Entwicklungen stellen die Robustheit und Verlässlichkeit von Befunden infrage, die lange Zeit als empirisch gesichert galten.

Eine weitere aktuelle Herausforderung stellt der Umstand dar, dass das, was in den 1980ern als Neue Medien begann, inzwischen um eine Vielzahl technischer Möglichkeiten erweitert worden ist. Zum Lernen mit digitalen Medien gehört längst nicht mehr nur das Lernen am Computer, sondern auch das Lernen mit digitalen Lernspielen, mit Lernapps, anhand von Youtube-Videos oder mit Intelligenten Tutoriellen Systemen, die in der Lage sind, sich individuell an die Lernenden und ihre Lernfortschritte anzupassen. Erst in den letzten Jahren werden empirische Untersuchungen aus der Perspektive kognitiver Multimediatheorien auch anhand dieser Varianten digitaler Medien durchgeführt (Mayer, 2017; Wang & Shen, 2012) und es ist noch unklar, inwiefern die Annahmen der *Cognitive Load Theory* (Sweller et al., 2011) und der *Cognitive Theory of Multimedia Learning* (Mayer, 2014) auf die Gestaltung dieser Medien übertragbar sind und wie das weitere Potential dieser Medien, v.a. hinsichtlich des Einbezugs interaktiver Elemente und

der Anpassung an individuelle Lernendeneigenschaften und Lernfortschritte, in entsprechende Theorien integriert werden kann (Mayer, 2017).

Zur Frage, wie beispielsweise mobile Medien lernförderlich eingesetzt werden können, bietet sich neben der Bezugnahme auf die traditionelle Multimediaforschung aber auch ein Blick auf gedächtnispsychologische Ansätze an, die sich allgemein mit Lernprozessen beschäftigen. Auch wenn diese nicht speziell die Rolle digitaler Medien fokussieren, können hieraus Empfehlungen für einen lernförderlichen Einsatz mobiler Medien abgeleitet werden.

4 Wünschenswerte Erschwernisse beim Lernen

Ein solcher Ansatz in der kognitiven Psychologie betont die Wirkung sogenannter wünschenswerter Erschwernisse (*desirable difficulties*, Bjork & Bjork, 2011; Lipowsky, Richter, Borromeo-Ferri, Ebersbach, & Hänze, 2015). Darunter versteht man solche Methoden oder Strategien, die den Lernenden den Lernprozess erschweren, aber vor allem langfristig mit besseren Lernleistungen einhergehen. Dies wird darauf zurückgeführt, dass so die spätere Abrufbarkeit des zuvor erworbenen Wissens erhöht und damit Vergessen reduziert wird. Die Schwierigkeit, einmal erworbenes Wissen im richtigen Moment abzurufen, zeigt sich nicht nur in Tests und Prüfungen, sondern auch in vielen Alltagssituationen – etwa, wenn man versucht, sich an das französische Wort für *Rechnung* zu erinnern, wenn man den Kellner ruft, oder an den Namen der ehemaligen Mitschülerin, der man nach vielen Jahren wieder begegnet, oder beim Versuch, einen Verletzten in die stabile Seitenlage zu bringen, selbst wenn der Erste-Hilfe-Kurs Jahre zurückliegt.

Besonders gut untersucht sind zwei wünschenswerte Erschwernisse, die die Gestaltung von Übungs- und Wiederholungsphasen betreffen: das Verteilen von Wiederholungs- und Übungszeit (*distributed practice*) anstelle von geblockten Übungsphasen am Stück sowie das frühe Üben des Gedächtnisabrufs (*retrieval practice*) anstelle erneuten rein rezipierenden Lernens. Sowohl beim verteilten Üben als auch beim Abruf Üben handelt es sich um Strategien zur Wiederholung und Festigung, die unter anderem deshalb den späteren Gedächtnisabruf verbessern sollen, weil sie durch ein Erschweren des Lernprozesses bei den Lernenden eine tiefere Verarbeitung des Lernmaterials anstoßen und weil sie Aspekte der Abrufsituation vorwegnehmen (Roediger & Karpicke, 2006). Der Einsatz von

Übungstests und von verteilten Übungsphasen hat sich in vielen Studien als vor allem für langfristiges Lernen förderlich herausgestellt (für Metaanalysen s. Donovan & Radosevich, 1999; Pan & Rickard, 2018; Rowland, 2014). Entsprechend finden sich diese Strategien in verschiedenen Empfehlungen für evidenzbasierte Lernstrategien und Lehrmethoden (Dunlosky, Rawson, Marsh, Nathan, & Willingham, 2013; Pashler et al., 2007).

Gleichzeitig zeigen viele Studien, dass sich Lernende des Nutzens dieser Strategien nicht bewusst sind und dass sie stattdessen wiederholtes Lesen oder das Wiederholen und Üben von Inhalten am Stück präferieren und für wirksamer halten (Bjork, Dunlosky, & Kornell, 2013). Für das selbstgesteuerte Lernen und Üben stellt sich somit die Frage, ob sich Lernende dann, wenn ihnen nicht vorgegeben ist, wie sie zu lernen haben, nicht für die aus ihrer Sicht vielversprechenderen und darüber hinaus weniger anstrengenden Strategien entscheiden. In einer der wenigen Untersuchungen zu verteiltem Üben in selbstgesteuerten Lernsituationen fanden Barzagar Nazari und Ebersbach (2018), dass Schülerinnen und Schüler der 10. und 11. Klasse, die zuhause ergänzende Übungen zum Matheunterricht bearbeiten konnten, diese Übungen kaum noch bearbeiteten, wenn dies verteilt erfolgen musste. Führen die Erschwernisse wie in diesem Fall also dazu, dass das Lernen an sich vermieden wird, können sie trivialerweise keine wünschenswerten Folgen für das langfristige Lernen entfalten.

5 Digitale Medien und wünschenswerte Erschwernisse

In der Überwindung dieser Hindernisse könnte ein besonderes Potential digitaler, vor allem mobiler Medien liegen. So bieten Lernapps auf dem Smartphone die Möglichkeit, kurze Phasen des Leerlaufs im Alltag, etwa beim Warten oder unterwegs, zum Üben und Wiederholen von Lerninhalten zu nutzen. In solchen kurzen Pausen lassen sich ohnehin nur wenige Übungsaufgaben bearbeiten, was einem verteilten Übungsplan mit mehreren kurzen, aber sich über einen längeren Zeitraum erstreckenden Lerngelegenheiten viel mehr entgegenkommt als dem geblockten Üben. Zudem ist der Aufforderungsgehalt eines Smartphones, das die Lernenden sowieso bei sich tragen, und einer Lernapp, die sie immer wieder ans Üben erinnert, vermutlich höher als der eines Buchs oder eines Karteikastens, die stumm auf dem Schreibtisch liegen bzw. stehen bleiben.

Tatsächlich finden sich die Lernprinzipien des verteilten Übens und des Übens des Wissensabrufs bereits in verschiedenen Lernapps wieder, prototypisch in virtuellen Karteikarten. Solche virtuellen Karteikarten sind entweder bereits vorab mit Lerninhalten gefüllt oder die Lernenden gestalten sich die Inhalte selbst, sei es mit Vokabelpaaren, Definitionen oder Übungsfragen und -antworten. Wie klassische Karteikarten auf Papier bieten sie Lernenden die Möglichkeiten ihren Wissensstand zu testen und sich selbst zu kontrollieren und von der lernförderlichen Wirkung des Wissensabrufs zu profitieren. Darüber hinaus können in virtuelle Karteikarten aber weit vielfältigere Lerninhalte eingebunden werden, selbst in Form von Video- oder Audiodateien, etwa wenn es beim Vokabellernen auch darauf ankommt, die Aussprache in der Fremdsprache zu üben. Zudem können virtuelle Karteikarten Algorithmen nutzen, über die die Lernenden im Sinne des verteilten Übens in größeren Abständen zum erneuten Wiederholen aufgefordert werden und dabei adaptiv gezielt die Inhalte wiederholt werden können, die in früheren Übungsdurchgängen nicht (konsistent) erinnert werden konnten (wie z. B. in der *Open-Source*-Applikation Anki). Auf diese Art und Weise ist ein Bewusstsein über die lernförderliche Wirkung des verteilten Übens oder des Abruf Übens keine notwendige Voraussetzung, um beim selbstgesteuerten Lernen und Üben mit mobilen Medien von diesen Strategien zu profitieren.

Inwiefern dieses Potential tatsächlich ausgeschöpft werden kann, ist allerdings noch nicht systematisch untersucht. Typische empirische Studien zu wünschenswerten Erschwernissen fokussieren sich auf weitgehend fremdgesteuertes Lernen und nutzen entweder klassisches computerbasiertes Lernen oder Lernsituationen mit Papier und Bleistift (für einen Überblick s. Dunlosky et al., 2013). Hier ist Forschung notwendig, die das Abruf Üben oder das verteilte Üben gezielt unter Einsatz mobiler Medien empirisch untersucht.

6 Cognitive Offloading und digitale Medien

Wie eingangs im Zusammenhang mit kognitiven Multimediatheorien beschrieben, stellt die permanente Verfügbarkeit digitaler Medien aber auch eine Herausforderung für die Gestaltung von Lernsituationen dar. Der Lernprozess kann zum einen dadurch behindert werden, dass die Aufmerksamkeit der Lernenden abgelenkt wird, etwa durch akustische Signale, die Konkurrenzinten-

tionen wie das Abrufen und Schreiben von Nachrichten immer wieder in den Vordergrund rücken und so das Abschirmen gegen diese Konkurrenzintentionen besonders erschweren (Mendoza, Pody, Lee, Kim, & McDonough, 2018).

Die mühelose Verfügbarkeit digitaler Medien kann nicht nur Folgen für die Aufmerksamkeitsausrichtung, sondern auch für Gedächtnisprozesse haben. Aktuell im Fokus steht hier die Forschung zum sogenannten *cognitive offloading* (Risko & Gilbert, 2016), was sich in etwa mit kognitiver Entlastung oder kognitiver Auslagerung übersetzen lässt. Hierunter fallen alle Gelegenheiten, bei denen wir Gegenstände oder andere Personen nutzen, um unsere Kognition, vor allem unser Gedächtnis, zu entlasten, wie etwa mit dem Schreiben einer Einkaufsliste oder dem Knoten im Taschentuch. Mit digitalen Medien stehen uns nahezu unbegrenzt externe Speicher zur Verfügung, bei denen wir davon ausgehen können, dass die auf dem Computer gespeicherte Datei oder der abfotografierte Veranstaltungshinweis eine zuverlässigere Quelle für den späteren Wissensabruf darstellen als unser eigenes Gedächtnis. Darüber hinaus haben wir durch Smartphones ständigen Zugriff auf das Internet als externe Wissensquelle, die unser eigenes Langzeitgedächtnis erweitert. So müssen wir nicht mehr vergeblich in unserem Gedächtnis nach dem schnellsten Weg zum Bahnhof oder nach dem Namen des blonden Schauspielers aus dem Film, über den wir uns gerade unterhalten, suchen. Stattdessen können wir dieses Wissen ohne Mühe nahezu jederzeit und überall aus dem Internet abrufen. Erste Studien weisen darauf hin, dass sich die Verfügbarkeit externer Speicher und Wissensquellen tatsächlich auf unsere kognitiven Prozesse auswirkt. So konnten sich Personen, die davon ausgingen, dass das aktuelle Lernmaterial auf einer Festplatte gespeichert war, in einem späteren Test ohne Rückgriff auf diese Dateien schlechter an die Inhalte erinnern, als diejenigen, die nicht von einer externen Speichermöglichkeit ausgingen. Gut erinnern konnten sie sich stattdessen daran, wo die Informationen gespeichert waren (Sparrow, Liu, & Wegner, 2011). Inwiefern sich hier auch langfristige Folgen für den Wissenserwerb zeigen, ist allerdings unklar. Auch wenn das Thema *cognitive offloading* und digitale Medien gerade viele beschäftigt (s. z.B. den um sieben Diskussionsbeiträge ergänzten Übersichtsartikel von Marsh & Rajaram, 2019, in der Zeitschrift *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*), steht diese Forschung erst am Anfang.

7 Fazit

Aus der Perspektive der Gedächtnis- und Lernpsychologie ist das Lernen mit digitalen Medien also ein vielversprechendes Forschungsfeld, was sich etwa in der Etablierung einflussreicher Theorien wie der *Cognitive Load Theory* (Sweller et al., 2011) und der *Cognitive Theory of Multimedia Learning* (Mayer, 2014) zeigt. Gerade das spezifische Potential und die spezifischen Herausforderungen des Lernens mit mobilen Medien sind allerdings zum jetzigen Zeitpunkt noch wenig systematisch empirisch untersucht und theoretisch untersetzt. Hier erscheint vor allem eine Integration der Forschung zum mobilen Lernen mit den bislang separaten Forschungsfeldern zu wünschenswerten Erschwernissen und zum *Cognitive Offloading* vielversprechend. Studien, die diese verschiedenen Perspektiven berücksichtigen, können Erkenntnisse darüber generieren, wie digitale Medien nicht nur so eingesetzt werden, dass Lernende kognitive Ressourcen sparen, sondern dass sie auch *nachhaltig* Wissen erwerben.

Prof. Dr. Judith Schweppe ist Professorin für Psychologie mit Schwerpunkt Lehren und Lernen mit digitalen Medien an der Philosophischen Fakultät der Universität Passau, judith.schweppe@uni-passau.de

Quellenverzeichnis

- Baddeley, A. (2012). Working memory: theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology*, 63, 1–29.
- Barzagar Nazari, K., & Ebersbach, M. (2018). Distributed practice: Rarely realized in self-regulated mathematical learning. *Frontiers in Psychology*, 9, 2170.
- Bjork, E. L., & Bjork, R. A. (2011). Making things hard on yourself, but in a good way: Creating desirable difficulties to enhance learning. In M. A. Gernsbacher, R. W. Pew, L. M. Hough, & J. R. Pomerantz (Hrsg.), *Psychology and the real world: Essays illustrating fundamental contributions to society* (S. 56–64). New York, NY: Worth.
- Bjork, R. A., Dunlosky, J., & Kornell, N. (2013). Self-regulated learning: Beliefs, techniques, and illusions. *Annual Review of Psychology*, 64, 417–444.
- Clark, R. C., & Mayer, R. E. (2016). *E-learning and the science of instruction: Proven guidelines for consumers and designers of multimedia learning* (4. Aufl.). New York, NY: John Wiley & Sons.

- Clark, R. E. (1994). Media will never influence learning. *Educational Technology Research and Development*, 42, 21–29.
- Cooper, H., DeNeve, K. & Charlton, K. (1997). Finding the missing science: The fate of studies submitted for review by a human subjects committee. *Psychological Methods*, 2, 447–452.
- Cowan, N. (2014). Working memory underpins cognitive development, learning, and education. *Educational Psychology Review*, 26, 197–223.
- Donovan, J. J., & Radosevich, D. J. (1999). A meta-analytic review of the distribution of practice effect: Now you see it, now you don't. *Journal of Applied Psychology*, 84, 795–805.
- Dunlosky, J., Rawson, K. A., Marsh, E. J., Nathan, M. J., & Willingham, D. T. (2013). Improving students' learning with effective learning techniques: Promising directions from cognitive and educational psychology. *Psychological Science in the Public Interest*, 14, 4–58.
- Engle, R. W., Kane, M. J., & Tuholski, S. W. (1999). Individual differences in working memory capacity and what they tell us about controlled attention, general fluid intelligence, and functions of the prefrontal cortex. In A. Miyake, & P. Shah (Hrsg.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (S. 102–134). New York: Cambridge University Press.
- Garner, R., Gillingham, M. G., & White, C. S. (1989). Effects of 'seductive details' on macroprocessing and microprocessing in adults and children. *Cognition and Instruction*, 6, 41–57.
- Halford, G. S., Cowan, N., & Andrews, G. (2007). Separating cognitive capacity from knowledge: A new hypothesis. *Trends in Cognitive Sciences*, 11, 236–242.
- Lindow, S., Fuchs, H. M., Fürstenberg, A., Kleber, J., Schweppe, J., & Rummer, R. (2011). On the robustness of the modality effect: Attempting to replicate a basic finding. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 25, 1–13.
- Lipowsky, F., Richter, T., Borromeo-Ferri, R., Ebersbach, M., & Hänze, M. (2015). Wünschenswerte Erschwernisse beim Lernen. *Schulpädagogik Heute*, 6, 1–10.
- Marsh, E. J., & Rajaram, S. (2019). The digital expansion of the mind: Implications of internet usage for memory and cognition. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 8, 1–14.
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

- Mayer, R. E. (2014). Cognitive theory of multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (2. Aufl., S. 43–71). Cambridge: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2017). Using multimedia for e-learning. *Journal of Computer Assisted Learning*, 33, 403–423.
- Mayer, R. E., & Moreno, R. (2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist*, 38, 43–52.
- Mendoza, J. S., Pody, B. C., Lee, S., Kim, M., & McDonough, I. M. (2018). The effect of cellphones on attention and learning: The influences of time, distraction, and nomophobia. *Computers in Human Behavior*, 86, 52–60.
- Miller, G.A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63, 81–97.
- Moreno, R., & Mayer, R. E. (1999). Cognitive principles of multimedia learning: The role of modality and contiguity. *Journal of Educational Psychology*, 91, 358–368.
- Oberauer, K. (2009). Design for a working memory. In B. H. Ross (Hrsg.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (Vol. 51, S. 45–100). San Diego: Elsevier Academic Press.
- Oberauer, K., Farrell, S., Jarrold C., & Lewandowsky S. (2016). What limits working memory capacity? *Psychological Bulletin*, 142, 758–99.
- Oberauer, K., Lewandowsky, S., Awh, E., Brown, G. D. A., Conway, A., Cowan, N., Donkin, C., Farrell, S., Hitch, G. J., Hurlstone, M., Ma, W. J., Morey, C. C., Nee, D. E., Schweppe, J., Vergauwe, E. & Ward, G. (2018). Benchmarks for models of short term and working memory. *Psychological Bulletin*, 144, 885–958.
- Paas, F., & Sweller, J. (2014). Implications of cognitive load theory for multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (2. Aufl., S. 27–42). Cambridge: Cambridge University Press.
- Pan, S. C., & Rickard, T. C. (2018). Transfer of test-enhanced learning: Meta-analytic review and synthesis. *Psychological Bulletin*, 144, 710–756.
- Pashler, H., Bain, P., Bottge, B., Graesser, A., Koedinger, K., McDaniel, M., & Metcalfe, J. (2007). *Organizing instruction and study to improve student learning* (NCER 2007–2004). Washington, DC: National Center for Education Research, Institute of Education Sciences, U.S. Department of Education. Abgerufen von <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED498555.pdf>
- Risko, E. F., & Gilbert, S. J. (2016). Cognitive offloading. *Trends in Cognitive Sciences*, 20, 676–688.

- Roediger III, H. L., & Karpicke, J. D. (2006). The power of testing memory: Basic research and implications for educational practice. *Perspectives on Psychological Science*, *1*, 181–210.
- Rowland, C. A. (2014). The effect of testing versus restudy on retention: a meta-analytic review of the testing effect. *Psychological Bulletin*, *140*, 1432–1463.
- Schüler, A., Scheiter, K., & Schmidt-Weigand, F. (2011). Boundary conditions and constraints of the modality effect. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, *25*, 211–220.
- Schweppe, J., & Rummer, R. (2016). Integrating written text and graphics as a desirable difficulty in long-term multimedia learning. *Computers in Human Behavior*, *60*, 131–137.
- Segers, E., Verhoeven, L., & Hulstijn-Hendrikse, N. (2008). Cognitive processes in children's multimedia text learning. *Applied Cognitive Psychology*, *22*, 375–387.
- Sparrow, B., Liu, J., & Wegner, D. M. (2011). Google effects on memory: Cognitive consequences of having information at our fingertips. *Science*, *333*, 776–778.
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive load theory*. New York: Springer.
- Sweller, J., Van Merriënboër, J. J., & Paas, F. G. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, *10*, 251–296.
- Tabbers, H. K. (2002). *The modality of text in multimedia instructions: Refining the design guidelines* (Unpublished doctoral dissertation). Open University of the Netherlands, Heerlen.
- Wang, M., & Shen, R. (2012). Message design for mobile learning: Learning theories, human cognition and design principles. *British Journal of Educational Technology*, *43*, 561–575.