

Lumer, Jutta; Konnemann, Christiane

Besseres biologisches Verständnis durch Anwendung von Multimedia-Prinzipien auf eine Text-Bild-Kombination zur synaptischen Übertragung

"Herausforderung Zukunft". Internationale Jahrestagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBIO. Innsbruck; Wien : Studienverlag 2024, S. 161-179. - (Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik; 11)



Quellenangabe/ Reference:

Lumer, Jutta; Konnemann, Christiane: Besseres biologisches Verständnis durch Anwendung von Multimedia-Prinzipien auf eine Text-Bild-Kombination zur synaptischen Übertragung - In: "Herausforderung Zukunft". Internationale Jahrestagung der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBIO. Innsbruck; Wien : Studienverlag 2024, S. 161-179 - URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-361962 - DOI: 10.25656/01:36196

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-361962>

<https://doi.org/10.25656/01:36196>

in Kooperation mit / in cooperation with:



<https://www.vbio.de/fddb-fachdidaktik>

Nutzungsbedingungen

Dieses Dokument steht unter folgender Creative Commons-Lizenz: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.de> - Sie dürfen das Werk bzw. den Inhalt vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen sowie Abwandlungen und Bearbeitungen des Werkes bzw. Inhaltes anfertigen, solange Sie den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen und das Werk bzw. den Inhalt nicht für kommerzielle Zwecke verwenden.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

This document is published under following Creative Commons-License: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.en> - You may copy, distribute and render this document accessible, make adaptations of this work or its contents accessible to the public as long as you attribute the work in the manner specified by the author or licensor. You are not allowed to make commercial use of the work, provided that the work or its contents are not used for commercial purposes.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.



Kontakt / Contact:

peDOCS
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation
Informationszentrum (IZ) Bildung
E-Mail: pedocs@dipf.de
Internet: www.pedocs.de

Mitglied der


Leibniz-Gemeinschaft

Steffen Schaal, Armin Lude,
Moritz Krell, Kerstin Kremer (Hrsg.)

Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik

Band 11

StudienVerlag



Steffen Schaal, Armin Lude, Moritz Krell,
Kerstin Kremer (Hrsg.)

Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik
Band 11

Steffen Schaal, Armin Lude, Moritz Krell,
Kerstin Kremer (Hrsg.)

Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik

Band 11

„Herausforderung Zukunft“
Internationale Jahrestagung
der Fachsektion Didaktik der Biologie im VBIO

StudienVerlag

Innsbruck
Wien

© 2024 by Studienverlag Ges.m.b.H., Erlersstraße 10, A-6020 Innsbruck
E-Mail: order@studienverlag.at
Internet: www.studienverlag.at

Buchgestaltung nach Entwürfen von himmel. Studio für Design und Kommunikation, Innsbruck /
Scheffau – www.himmel.co.at
Satz und Umschlag: Maria Strobl – gestro.at
Coverfotos: Kay Vollert, ARGUS/Das Foto, Sylke Hlawatsch, Klaus-Jürgen Hovener/Schering AG
Falls bei der Abbildung nicht anders angegeben, liegen die Bildrechte bei den Autor*innen.

Gedruckt auf umweltfreundlichem, chlor- und säurefrei gebleichtem Papier.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen
Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über [<http://dnb.dnb.de>](http://dnb.dnb.de)
abrufbar.

ISBN 978-3-7065-6440-3

Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder in einem anderen Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Der Verlag behält sich das Text- und Data-Mining nach § 42h UrhG vor, was hiermit Dritten ohne Zustimmung des Verlages untersagt ist.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	7
<i>Leroy Großmann, Maren Koberstein-Schwarz, Daniel Scholl, Anke Meisert & Dirk Krüger</i> Forschungsfelder kartieren, Forschungslücken entdecken: bibliometrische Analysen am Beispiel der naturwissenschaftsdidaktischen Unterrichtsplanungsforschung	11
<i>Alexander Büssing, Julia Arnold, Alexander Bergmann-Gering, Till Bruckermann, Arne Dittmer, Daniela Mahler, Annette Upmeyer zu Belzen & Bianca Reinisch</i> Der Family Resemblance Approach als Rahmen für Reflexionen über das Wesen der Biologiedidaktik – eine Round Table Dokumentation	27
<i>Silvia Fränkel, Benedikt Heuckmann, Laura Ferreira González, Moritz Sterken, Sarah Wilken & Melanie Basten</i> Inklusionsorientierte Anteile in der ersten Phase der biologiedidaktischen Lehrkräftebildung gestalten und verankern. Ergebnisse einer Round Table-Diskussion	41
<i>Sara Großbruchhaus, Patricia Schöppner & Claudia Nerdel</i> Implementation einer biotechnologischen Lehrkräftefortbildung in den Unterricht – welche Einflussfaktoren unterstützen Lehrkräfte bei der Entscheidung?	55
<i>Albert Zeyer</i> Synoptischer Wissenstransfer (Two-Eyed Seeing) – Ein Ansatz, um medizinische Themen in den naturwissenschaftlichen Unterricht zu integrieren	73
<i>Elvira Schmidt, Julia Arnold, Heide Beranek-Knauer, Simon Blauza, Lucas Eder, Benedikt Heuckmann, Helmut Jungwirth, Hildrun Walter, Albert Zeyer & Kerstin Kremer</i> Wissenschaftsreflexion medizinischer Themen im Kontext von Gesundheitsbildung	89

<i>Maximilian Haberbosch, Lisa Jiang, Daniel Hartmuth, Marius Eckert, Sarah Dannemann, Birgit Jana Neuhaus, Dörte Ostersehl, Sonja Schaal & Steffen Schaal</i>	
Ein systematischer Vergleich der Reflexionsverständnisse in der Biologie-Lehrkräftebildung	107
<i>Marcus Hammann & Sebastian Brandt</i>	
Tracing Trait Formation: Wie erklären Lernende der Sekundarstufe II den Weg vom Gen zum Merkmal?	123
<i>Dorian Thomsen & Alexander Büssing</i>	
Erarbeitung eines Kategoriensystems zum Einsatz immersiver Modelle in der Humanbiologie: eine Studie zu Lernendenvorstellungen und Einbindungsgraden	143
<i>Jutta Lumer & Christiane Konnemann</i>	
Besseres biologisches Verständnis durch Anwendung von Multimedia-Prinzipien auf eine Text-Bild-Kombination zur synaptischen Übertragung	161
<i>Mirlinda Mustafa, Nadine Großmann & Jörg Großschedl</i>	
Rückmeldesysteme in interaktiven Lernvideos für angehende Biologielehrkräfte: Einfluss auf die Forschungskompetenz, das forschungsmethodische Wissen und die intrinsische Motivation	181
<i>Birgit Baumann & Jorge Groß</i>	
Entwicklung einer Bestimmungs-App für Schmetterlinge durch Lernende im DPaCK-Modell	197
<i>Rebecca Klein, Murielle Meier & Nadine Tramowsky</i>	
Entwicklung eines Kriterienkataloges zur Gestaltung multimedialer Arbeitshefte (MuxBooks) für die Grundschule: eine Design-Based Research-Studie	213

Vorwort

Herausforderung Zukunft – die Biologiedidaktik wird im 21. Jahrhundert mehr denn je als Zukunftsdisziplin an der Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Gesellschaft betrachtet. Zum einen tragen biologische Konzepte zum Verständnis der Herausforderungen unserer Zeit bei. Hier sind beispielsweise Themenfelder wie Klima und Biodiversität, Gesundheit, Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft oder auch Ernährungssicherung zu nennen. Zum anderen spielt die Kompetenzförderung mit Bezug auf die sogenannten 21st Century Skills oder Futures Literacy eine herausragende Rolle für den (Biologie-)Unterricht. Heranwachsende sowie die Öffentlichkeit werden in der Gestaltung einer sich wandelnden Welt darin unterstützt, die Rolle der (Bio-)Wissenschaften in gesellschaftlichen Entscheidungsprozessen zu verstehen und kritisch zu hinterfragen. In diesem Zusammenhang geht es auch darum, interdisziplinäre Lösungen für komplexe Problemstellungen zu verstehen und deren gesellschaftliche Kommunikation zu bewerten. Insbesondere die Coronavirus-Pandemie – von der WHO auch als „Infodemie“ bezeichnet – hat hierbei die Bedeutung eines Verständnisses von naturwissenschaftlicher Forschung und deren Kommunikation, der Digitalisierung und Digitalität, Datenkompetenz und Media-Literacy für das fachliche Lernen in den Fokus gerückt und wirft neue Fragen der Integration von digital unterstützten Lehr- und Lernprozessen in den Biologieunterricht und in die Biologie-Lehrkräftebildung auf.

Darüber hinaus tragen Inklusion und Sprachsensibilität im Biologieunterricht dazu bei, dass Menschen, die von Flucht und Migration betroffen sind, in unserer Gesellschaft beruflich und sozial teilhaben können. Weit über den Biologieunterricht hinaus beschäftigen sich Biologiedidaktiker:innen heute vermehrt mit Fragen der Wissenschaftskommunikation und des Transfers zwischen Wissenschaft, Fachdidaktik und Gesellschaft. Damit erreicht die Biologiedidaktik gänzlich neue Zielgruppen, erweitert ihr Blickfeld deutlich und hat sich dem Dialog zwischen Stakeholder-Gruppen gestellt.

In diesem nunmehr elften Band der Reihe „Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik“ der Fachsektion Didaktik der Biologie (FDdB) im Verband der Biologie, Biowissenschaften & Biomedizin (VBIO) werden die Früchte einer intensiven Auseinandersetzung mit diesen aktuellen Fragen und Herausforderungen der Biologiedidaktik vorgestellt. Jeder Beitrag in diesem Band wurde sorgfältig ausgewählt und einem Double-Blind-Peer-Review-Verfahren unterzogen.

Die hier versammelten Beiträge spannen einen weiten Bogen über das vielfältige Feld der Biologiedidaktik mit Bezug zum Tagungsthema. Sie reichen von der Entwicklung und Evaluation digitaler Lernumgebungen, die das Potenzial haben, den Biologieunterricht grundlegend zu transformieren, über die Erforschung und Implementierung innovativer didaktischer Ansätze, die das biologische Verständnis und die Motivation der Schüler:innen fördern sollen, bis hin zur kritischen Reflexion über die erkenntnistheoretischen Grundlagen der Biologiedidaktik und ihre Rolle in der Ausbildung zukünftiger Lehrkräfte.

Die Autor:innen dieses Bandes, darunter sowohl erfahrene Forschende als auch engagierte Nachwuchswissenschaftler:innen, haben ihre Expertise und Leidenschaft in diese Beiträge einfließen lassen. Sie laden uns ein, ihre Erkenntnisse zu teilen, ihre Ideen zu diskutieren und gemeinsam Wege zu beschreiten, um den Biologieunterricht für die Herausforderung Zukunft vorzubereiten.

Dieser Tagungsband bietet eine wertvolle Quelle der Inspiration und Information für alle jene, die sich für die Weiterentwicklung der Biologiedidaktik einsetzen – sei es in der Forschung, in der Lehrkräftebildung oder in der schulischen Praxis. Wir wünschen Ihnen eine anregende und gewinnbringende Lektüre!

Die Herausgebenden

Steffen Schaal (Pädagogische Hochschule Ludwigsburg), Armin Lude (Pädagogische Hochschule Ludwigsburg), Moritz Krell (Leibniz Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik Kiel) & Kerstin Kremer (Justus-Liebig-Universität Gießen)

Wir bedanken uns herzlich für die Unterstützung durch die Gutachtenden des elften Bandes „Lehr- und Lernforschung der Biologiedidaktik“. Ohne diese gemeinschaftliche Arbeit wäre dieser Band nicht möglich gewesen!

- Julia Arnold, Fachhochschule Nordwestschweiz
- Till Bruckermann, Leibniz Universität Hannover
- Alexander Büssing, Technische Universität Braunschweig
- Sarah Dannemann, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
- Arne Dittmer, Universität Regensburg
- Silvia Fränkel, Universität zu Köln
- Jorge Groß, Leibniz Universität Hannover
- Leroy Großmann, Freie Universität Berlin
- Jörg Großschedl, Universität zu Köln
- Marcus Hammann, Universität Münster
- Benedikt Heuckmann, Universität Münster

- Christiane Konnemann, Universität Münster
- Dirk Krüger, Freie Universität Berlin
- Daniela Mahler, Freie Universität Berlin
- Anke Meisert, Universität Hildesheim
- Claudia Nerdel, Technische Universität München
- Birgit Neuhaus, Ludwig-Maximilians-Universität München
- Dörte Ostersehl, Universität Bremen
- Bianca Reinisch, Universität Potsdam
- Sonja Schaal, Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd
- Kirsten Schlüter, Universität zu Köln
- Nadine Tramowsky, Pädagogische Hochschule Freiburg
- Annette Upmeyer zu Belzen, Humboldt-Universität zu Berlin
- Jörg Zabel, Universität Leipzig
- Albert Zeyer, Pädagogische Hochschule Luzern

Besseres biologisches Verständnis durch Anwendung von Multimedia-Prinzipien auf eine Text-Bild-Kombination zur synaptischen Übertragung

Zusammenfassung

Am Beispiel einer Text-Bild-Kombination (TBK) zu den Vorgängen an einer chemischen Synapse aus einem Schulbuch untersuchen wir in zwei Experimenten, inwiefern durch die Anwendung ausgewählter und fachdidaktisch gezielt kombinierter Multimedia-Prinzipien (Studie 1: *räumliche Kontiguität, Signaling, Segmenting*) bzw. durch die unterschiedliche Abfolge der Darbietung von Text und Bild (Studie 2: *Sequencing*) der *Mental load* verringert und das Verständnis von Lernenden der Einführungsphase der Sekundarstufe II im Vergleich zum Ausgangsmaterial gesteigert werden können. Beide Studien liefern Hinweise dafür, dass die Anwendung der Prinzipien das fachliche Lernen mit einer TBK zu diesem Inhalt positiv unterstützen kann. Insbesondere in Experiment 1 zeigten sich ein deutlich verringerter *Mental load* ($d = 1.04$) und ein höherer Lernerfolg ($r = .29$) bei der Arbeit mit dem modifizierten Material. Die Aussagekraft der Ergebnisse und die Übertragbarkeit auf weitere Fachinhalte werden im Beitrag diskutiert sowie Implikationen für Forschung und Praxis aufgezeigt.

Abstract

Using the example of a text-picture combination on the processes at a chemical synapse from a textbook, we investigate in two experiments to what extent the application of selected and didactically specifically combined multimedia principles (study 1: *spatial contiguity, signaling, segmenting*) and the different sequence

in the presentation of text and picture (study 2: *sequencing*) can reduce the mental load and increase the understanding of learners in the introductory phase of upper secondary school compared to the original material. In essence, both studies provide evidence that the application of the principles can positively support subject-specific learning with a text-picture combination on this content. Experiment 1 in particular showed a significantly reduced mental load ($d = 1.04$) and greater learning success ($r = .29$) when working with material modified. The significance of the results and their transferability to other subject content are discussed in the article, as well as the implications for research and practice.

1 Einleitung

Das selbstständige Lernen durch das Lesen von (Lehr-)Buchtexten erfordert – insbesondere in der Sekundarstufe II (Sek. II) – fast immer eine aktive Verarbeitung und Integration von Informationen aus einem Text und den korrespondierenden, instruktionalen Abbildungen. Werden Prozesse abgebildet, sind dabei neben strukturellen Aspekten auch die Veränderungen im zeitlichen Verlauf zweidimensional visualisiert (Nerdel et al., 2019) und es finden i. d. R. mehrere Organisationsebenen (z. B. Zelle, Organell und Molekül) Berücksichtigung. Derartig komplexe Prozessabbildungen finden sich z. B. bei der Proteinbiosynthese, der Atmungskette oder eben bei den Vorgängen an der chemischen Synapse.

Erfolgreiches Lernen mit Text-Bild-Kombinationen (TBK) setzt voraus, dass es Lernenden gelingt, den Leseprozess so zu gestalten, dass die in Text und Bild enthaltenen Informationen – mit Blick auf das Lernziel – selektiv entnommen, adäquat aufeinander bezogen und dann stimmig miteinander und mit dem Vorwissen verknüpft, d. h. integriert werden. Nur dann stellt sich der als Multimedia-Effekt bezeichnete Lernvorteil gegenüber dem Lernen mit ungebildetem Text ein (Mayer, 2005). Einschlägige Multimedia-Prinzipien (MMP) finden jedoch in der unterrichtlichen Praxis kaum Anwendung (Scheiter et al., 2020). Daher ist das Ziel der durchgeführten Studien, die Anwendung ausgewählter Prinzipien auf einen zentralen obligatorischen Unterrichtsinhalt zu untersuchen und deren Effektivität bei der Unterstützung des fachlichen Lernens mit einer TBK, die eine komplexe Prozessabbildung enthält, zu überprüfen. Sie bilden den Einstieg in eine Reihe laufender Studien, die sowohl digitale Anwendungen als auch weitere MMP in den Blick nehmen.

2 Theoretischer Hintergrund und Stand der Forschung

Verschiedene Arbeiten zum Biologielernen mit TBK haben gezeigt, dass dieses wegen des sich ergänzenden Informationsgehalts beider Formate mit hohen Anforderungen an die Lernenden verknüpft ist (z. B. Ziepprecht, 2016; Beck & Nerdel, 2019), denn das Erschließen von Informationen aus TBK erfordert Fähigkeiten sowohl im Umgang mit dem schriftlichen Material als auch mit den Bildern (verbale und piktoriale Lesefähigkeit; Schnotz, 2002). Beide Fähigkeiten sind im Biologieunterricht in besonderem Maße gefordert, da die Lernenden hier mit einer großen Vielfalt an verbalen sowie bildlichen Repräsentationen konfrontiert werden (Beck & Nerdel, 2019). In naturwissenschaftlichen Kontexten stellen bereits Text und Bild für sich genommen hohe Anforderungen an die Lesekompetenz. Die Integration beider Elemente generiert zusätzliche Anforderungen durch Integrations- oder auch Kohärenzbildungsprozesse (Seufert, 2003). Diese erfordern einen aufwändigen, die Informationen vergleichenden, metakognitiv überwachten und regulierten Leseprozess, denn eine Vielzahl an Entscheidungen zu Such- und Orientierungsprozessen in Text und Bild muss getroffen, überwacht und angepasst werden.

Lernende aber arbeiten häufig ökonomisch, indem sie „den hohen kognitiven Aufwand der Integration verschiedener Repräsentationen“ vermeiden (Seufert, 2009, S. 46). Sie fokussieren typischerweise zunächst auf den Text, zumal Bilder in den Vorstellungen der Lernenden nur das illustrieren, „was zuvor in einem Text gelesen worden ist“ (Ziepprecht et al., 2017, S. 37). Informationen der Bilder werden oft nur oberflächlich verstanden und Bilddetails übersehen (Brandstetter-Korinth, 2017).

Aus der Multimedia-Forschung sind zwei Ansätze bekannt, wie diesen Problemen begegnet werden kann. Dabei werden materialbasierte von lernerzentrierten Ansätzen unterschieden (Scheiter et al., 2020), um „die begrenzte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses beim multimedialen Lernen optimal zu nutzen“ (Seufert & Brünken, 2018, S. 577). So sollen beide Ansätze Lernende darin unterstützen, Text und Bild bei der Entnahme von Informationen gleichermaßen zu berücksichtigen sowie nicht lernförderliche Textverarbeitungsprozesse zu minimieren. Dadurch wird die kognitive Belastung (*Cognitive load*) verringert und die Lernleistung erhöht (Mayer, 2005). Die in der Forschung weniger verbreiteten, verwandten Konstrukte *Mental load* und *Mental effort* folgen einer ähnlichen Logik, werden z. T. synonym genutzt (Schnaubert & Schneider, 2020) und in der biologiedidaktischen Forschung verwendet (Krell, 2017).

Überblicksarbeiten zur Effektivität von MMP zeigen, dass sich durch die räumliche Nähe von Text- und zugehörigen Bildabschnitten (*räumliche Kontiguität*,

Schroeder & Cenkci, 2018), das Hervorheben von Korrespondenzen in Text und Bild durch Farben oder Verweise (*Signaling*; Alpizar et al., 2020) und eine Untergliederung in sinnvolle Abschnitte (*Segmenting*; Mayer, 2009) jeweils kleine bis große Effekte auf die Verarbeitung der Inhalte erzielen lassen. Zudem kann es bei manchen Inhalten lernförderlich sein, die Reihenfolge der Präsentation von Text und Bild anzupassen, d. h., das Bild oder den Text zuerst bearbeiten zu lassen (*Sequencing* bzw. *Picture-first* vs. *Text-first*). Dabei sind die Effekte des *Sequencing* größer, wenn zunächst mit dem weniger komplexen Medium begonnen wird bzw. wenn eine Passung des abgefragten Wissenstyps zum zuletzt betrachteten Medium besteht (Eitel & Scheiter, 2015).

Anwendungen dieser Prinzipien bei der Gestaltung von Unterrichtsmaterialien sind aber noch selten und bisher nur in Ansätzen untersucht (Scheiter et al., 2020). Für den Biologie- und Chemieunterricht liegen einzelne unterrichtspraktische Vorschläge mit entsprechend didaktisierten TBK vor (z. B. Lumer & Winter, 2019; Lumer & Wlotzka, 2019; Lumer, 2023). Empirische Evidenz zur Unterstützung des Lernens mit komplexen fachspezifischen Abbildungen durch gezielt modifizierte TBK ist daher ein Desiderat. Hier setzen die durchgeführten Studien an und liefern ökologisch valide Erkenntnisse über eine fachdidaktisch fokussierte Anwendung ausgewählter, etablierter MMP. Dazu wurden in Studie 1 solche ausgewählt und so kombiniert, dass in besonderem Maße der notwendige informationsvergleichende Leseprozess angebahnt und unterstützt wird.

3 Wissenschaftliche Fragestellung

Am Beispiel einer Schulbuchseite (Walory & Westendorf-Bröring, 2015) zur synaptischen Übertragung wurde in zwei Experimenten untersucht, inwieweit durch Anwendung ausgewählter MMP der *Mental load* verringert und das fachliche Verständnis bei Lernenden der Einführungsphase in die Sek. II gesteigert werden kann. Die Forschungsfrage lautet:

Welche Effekte hat in Studie 1 eine kombinierte Anwendung von *räumlicher Kontiguität*, *Signaling* und *Segmenting* auf eine Schulbuchseite zur synaptischen Übertragung bzw. in Studie 2 die Anwendung von *Sequencing* durch Variation der Reihenfolge der Bearbeitung von Text und Bild (*Picture-first* vs. *Text-first*) auf den *Mental load*, den *Mental effort* und das Verständnis der Vorgänge der synaptischen Übertragung bei Lernenden der Einführungsphase?

4 Design und Methodik

4.1 Experimentelles Design

In zwei separaten, randomisierten Experimenten wurden am Beispiel der synaptischen Übertragung die Effekte einer kombinierten Anwendung ausgewählter MMP (Studie 1: ohne vs. mit Anwendung der Prinzipien) bzw. der Variation der Reihenfolge der Bearbeitung von Text und Bild (Studie 2: *Text-first* vs. *Picture-first*) auf die wahrgenommene kognitive Belastung (*Mental load*), den Einsatz bei der Bearbeitung (*Mental effort*) und die Lernergebnisse untersucht.

4.2 Stichprobe

An den beiden Studien nahmen insgesamt 121 Lernende am Ende der Einführungsphase der Sek. II teil. Die Lernenden in Studie 1 ($n = 56$) stammten aus Niedersachsen, besuchten ein staatliches Gymnasium oder ein bischöfliches Mädchengymnasium und waren 16–17 Jahre alt. Die Lernenden in Studie 2 ($n = 65$) stammten aus Nordrhein-Westfalen, besuchten eines von zwei staatlichen Gymnasien oder eine bischöfliche Gesamtschule und waren 15–17 Jahre alt.

4.3 Durchführung

Vor der Intervention bearbeiteten die Lernenden einen Vorwissenstest als Kontrollvariable (vgl. 4.4). Anschließend erfolgte in beiden Studien eine randomisierte Zuteilung zu einer Experimental- und einer Kontrollgruppe. Der Posttest (vgl. 4.4) erfolgte unmittelbar nach der Materialbearbeitung, aber ohne Vorliegen des Materials. Insgesamt standen für Testungen und Intervention 90 Minuten zur Verfügung.

4.4 Untersuchungsmaterial

Für die Auswahl des Ausgangsmaterials aus „Biologie Heute SII“ (Walory & Westendorf-Bröring, 2015) waren drei Kriterien entscheidend. Erstens die Passung zum Lernziel (Lernende erläutern die Schritte der synaptischen Übertragung). Zweitens war hier nur der Austausch bzw. die Ergänzung einzelner Begriffe nötig, um die

gewünschte isolierte Verwendung außerhalb einer Unterrichtssequenz zu ermöglichen. Konkret wurden z. B. die Fachbegriffe Aktionspotenzial und Neuron durch die alltagssprachlich verständlicheren Synonyme Erregung und Nervenzelle ersetzt. Drittens erforderte Studie 2, dass sowohl *Text-first* als auch *Picture-first* sinnvoll möglich waren, und zudem keine klare Beeinflussung der Testergebnisse durch das letztbenutzte Medium erfolgte (vgl. Kap. 2). Daher fiel die Wahl auf diese TBK mit vergleichsweise hoher inhaltlicher Redundanz von Text und Bild.

4.5 Material Studie 1

In Studie 1 arbeitete die Experimentalgruppe ($n = 28$) mit einem hinsichtlich *räumlicher Kontiguität*, *Signaling* und *Segmenting* modifizierten Material. Dabei zielten alle Anpassungen darauf ab, die Lernenden dabei zu unterstützen, beide Repräsentationen gründlicher wahrzunehmen, die lernzielrelevanten Informationen zu fokussieren, abzugleichen und zu verarbeiten. Die Kontrollgruppe ($n = 28$) erhielt das leicht veränderte Ausgangsmaterial (Abb. 1).



Abb. 1: Ausgangsmaterial (links, © Westermann Gruppe, Braunschweig) und modifiziertes Multimediamaterial (rechts) aus Studie 1

Im Folgenden werden die wesentlichen Anpassungen erläutert und begründet. Zunächst wurde der Ausgangstext orientiert am Inhalt in zwei große Segmente unterteilt (*Segmenting*): erstens räumliche Orientierung der Strukturen an einer chemischen Synapse (Abb. 1a), zweitens Schritte der Erregungsübertragung

(Abb. 1b). Da das Bild für das Verständnis beider Teile wesentlich ist, wurde es zweifach in unmittelbarer Nähe zum Textsegment eingesetzt (*räumliche Kontiguität*).

Erregungsübertragung

Manche Nervenzellen (Neurone) leiten Signale aus dem Zentralnervensystem an Muskeln und bewirken so deren Kontraktion. Diese Informationsübertragung von einem Neuron auf eine andere Zelle erfolgt an speziellen Kontaktstellen, den Synapsen.

Besonders gut erforscht sind die Synapsen zwischen Neuronen und Muskelfasern, die **motorischen Endplatten** (siehe Abb.).

Das Neuron endet in kurzen Verzweigungen mit zur **Muskelfaser** hin abgeflachten **Endknöpfchen**. Dabei gibt es keinen direkten Kontakt zwischen der Membran eines Endknöpfchens, der **präsynaptischen Membran**, und der Membran der Muskelfaser, der **postsynaptischen Membran**. Zwischen beiden Membranen liegt ein schmaler Zwischenraum, der **synaptische Spalt**.

Daher kann die Erregung nicht in Form von Ionenströmen von einer Zelle auf die andere übertragen werden. Mithilfe eines Überträgerstoffes, eines Neurotransmitters, wird der Spalt überbrückt. An der motorischen Endplatte dient **Acetylcholin** als Neurotransmitter. Man spricht von einer chemischen Synapse.

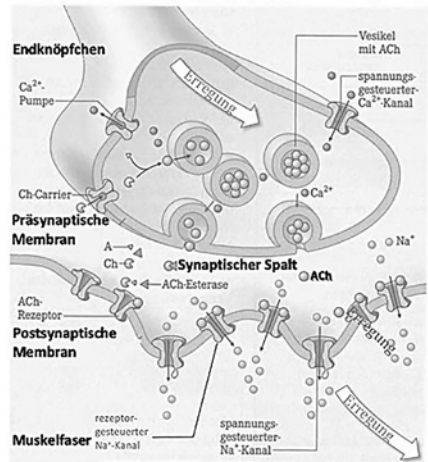


Abb.: Motorische Endplatte;
ACh Acetylcholin, A Acetat und Ch Cholin

Abb. 1a: Erster Teil des modifizierten Multimediaterials (Studie 1)

Um den Einstieg über die räumliche Orientierung zu forcieren, wurden die korrespondierenden Fachbegriffe für die Strukturen in Text, Bild und Abbildungsunterschrift durch Fettdruck optisch hervorgehoben (*Signaling*; z. B. prä- und postsynaptische Membran, synaptischer Spalt; Abb. 1a). Zusätzlich wurde die Farbintensität des Bildes herabgesetzt, sodass die aus fachlicher Perspektive zunächst unwesentlichen Bilddetails in den Hintergrund treten (*Signaling*). Der erste Textabschnitt wurde zudem in vier Segmente unterteilt (*Segmenting*), um Signale zum Pausieren im Leseprozess zu setzen und den Abgleich der Informationen von Text und Bild anzuregen.

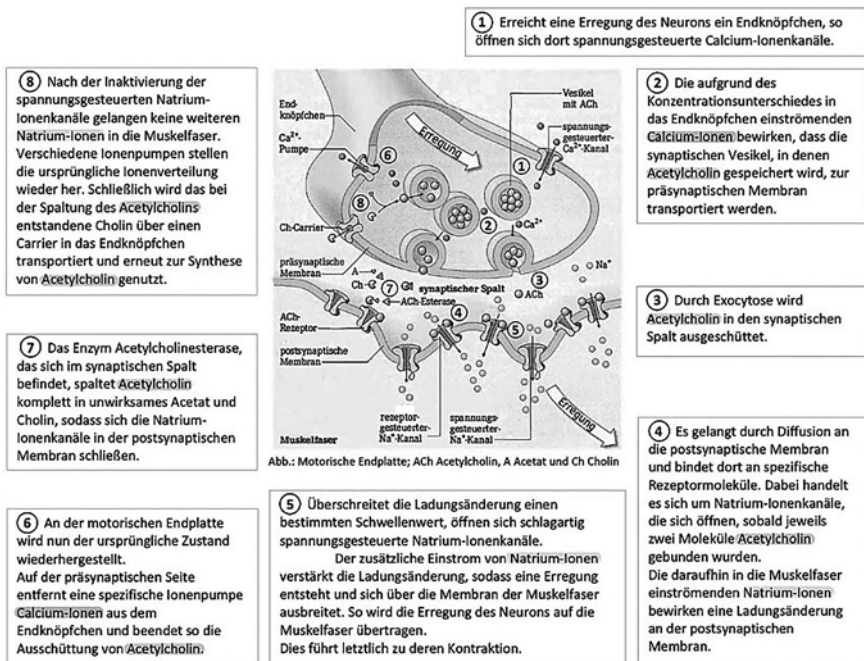


Abb. 1b: Zweiter Teil des modifizierten Multimediainformation (Studie 1)

Der folgende Text wurde, angepasst an die Schritte der synaptischen Übertragung, in acht Sinnabschnitte aufgegliedert (*Segmenting*) und so um das Bild herum angeordnet, dass die Beschreibung eines Schrittes möglichst nah an der zugehörigen Bildinformation zu finden ist (*räumliche Kontiguität*; Abb. 1b). Die Textsegmente wurden zudem gerahmt, wieder als Signal zum Pausieren und als Anstoß des Informationsabgleiches. *Signaling* wurde genutzt, um die Aufmerksamkeit auf den jeweils inhaltlich korrespondierenden Bildausschnitt zu lenken: erstens durch Einfügung der 1 bis 8 und zweitens durch Markierung der beteiligten Ionen und Transmitter bei Nennung im Text in der Farbe, die die entsprechenden Symbole im Bild tragen. Über die Anwendung der drei MMP hinaus wurden weitere typografische Merkmale berücksichtigt, die das Gesamterscheinungsbild der gestalteten Seite und damit die Lesbarkeit beeinflussen (vgl. Lumer et al., 2024).

4.6 Material Studie 2

In Studie 2 erhielt die Kontrollgruppe (n = 33) zunächst nur den Fließtext des Ausgangsmaterials (*Sequencing*) und nach zehn Minuten zusätzlich das Bild (*Text-first*), während die Experimentalgruppe (n = 32) zunächst für zehn Minuten nur mit dem Bild arbeitete (*Picture-first*; Abb. 2).

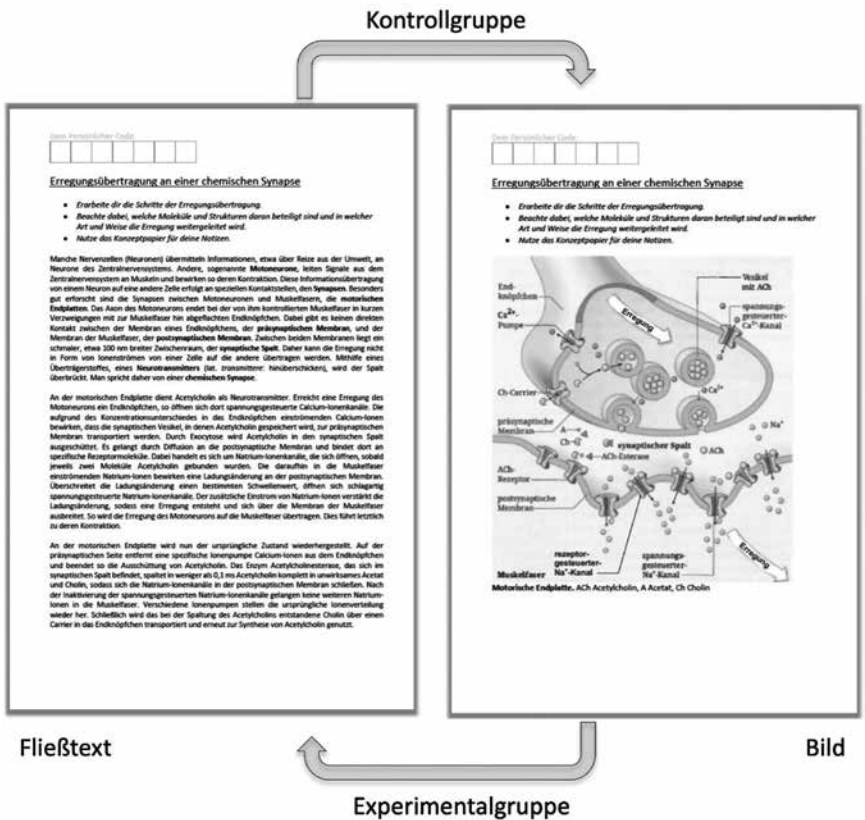


Abb. 2: Spaltung des Ausgangsmaterials in Fließtext und Bild (Studie 2)

4.7 Erhebungsmethodik

In beiden Studien erfolgte die Datenerhebung über schriftliche Befragungen im *Paper-pencil*-Format (Tab. 1). Dabei kamen im Prätest zwei Vorwissensinstrumente zum Einsatz (Studie 1: Zellbiologie, Studie 2: Neurobiologie). Die Posttestfragebögen waren in beiden Studien identisch und umfassten zwei separate Likert-Skalen für die abhängigen Variablen *Mental load* und *Mental effort* (nach Krell, 2017) sowie ein geschlossenes *Single-Choice*-Instrument und eine offene Aufgabe zur Erfassung des Lernerfolgs als weitere abhängige Variable.

Tab. 1: Skalen mit Kennwerten

Instrument	Itemformat	Itemzahl	α Studie 1/ α Studie 2	Beispielitem
Vorwissen Zellbiologie (Studie 1)	<i>Single Choice</i>	7	.37/n. v.	Den Vorgang, bei dem Feststoffe oder Flüssigkeiten durch Verschmelzung eines gefüllten Vesikels mit der Zellmembran aus dem Vesikel abgegeben werden, nennt man ... a) Endocytose. b) Exocytose. (+) c) Phagocytose. d) Pinocytose.

Instrument	Itemformat	Itemzahl	α Studie 1/ α Studie 2	Beispielitem
Vorwissen Neurobiologie (Studie 2)	<i>Single Choice</i>	5	n. v./ .30	Als Synapse bezeichnet man ... a) die Kontaktstelle zwischen Axon und Endknöpfchen. b) die Hüllzellen, die die Nervenzellen umgeben. c) die Region der Nervenzelle, in der die elektrischen Signale verrechnet werden. d) die Kontaktstelle zwischen dem Endknöpfchen einer Nervenzelle und der Zielzelle. (+)
<i>Mental load</i> (Krell, 2017)	Likert, sechsstufig, 1 bis 6	6	.92/.91	Das Material war einfach zu bearbeiten.
<i>Mental effort</i> (Krell, 2017)	Likert, sechsstufig, 1 bis 6	6	.93/.85	Bei der Bearbeitung des Materials habe ich mich wenig bemüht. (-)
Verständnis synaptischer Übertragung	offen	1	--	Erläutere die einzelnen Schritte der Erregungsübertragung an der motorischen Endplatte.
Verständnis synaptischer Übertragung	<i>Single Choice</i>	7	.41/.41	Im synaptischen Spalt befinden sich besonders viele ... a) Calcium-Ionen b) Natrium-Ionenkanäle c) Vesikel mit Acetylcholin d) Natrium-Ionen (+)

Anmerkungen. n. v. = nicht verwendet

4.8 Auswertungsmethodik

Die Codierung der geschlossenen Aufgaben erfolgte dichotom für die *Single-Choice*-Aufgaben (0 = falsch, 1 = richtig) bzw. sechsstufig für die Likert-Skalen (1 = gering, 6 = hoch). Die Auswertung der offenen Antworten erfolgte mit einem Codierleitfaden für insgesamt 13 verschiedene Teilschritte mit jeweils drei Niveaus (partial credit, 0 = nicht genannt, 1 = fachlich inkorrekte Beschreibung, 2 = im Wesentlichen fachlich korrekte Beschreibung) und anschließende Akkumulation zu einem Summenscore für die offenen Antworten.

Der Vergleich der Werte der geschlossenen Testaufgaben (für Vorwissen, *Mental load*, *Mental effort* und *Single-Choice*-Verständnis) erfolgte über ein- oder zweiseitige unabhängige T-Tests, während die Unterschiede in den offenen Antworten mit nicht parametrischen Mann-Whitney-U-Tests geprüft wurden.

5 Ergebnisse

5.1 Ergebnisse Studie 1

Die Ergebnisse des Vorwissenstests zeigen, dass die Lernenden in Studie 1 mit $M = 3,36$ ($SD = 1,52$) von möglichen sieben Punkten im Mittel ein eher mäßiges Vorwissen bezüglich der zellbiologischen Lernvoraussetzungen der synaptischen Übertragung besaßen. Signifikante Unterschiede im Vorwissen zwischen den Gruppen gab es nicht ($t[1,54] = 0,88$, $p = .38$).

Ein Vergleich der Posttestwerte zeigt zunächst, dass die Gruppen auch hinsichtlich des *Mental effort*, d. h. bezogen auf den Einsatz der Lernenden bei der Bearbei-

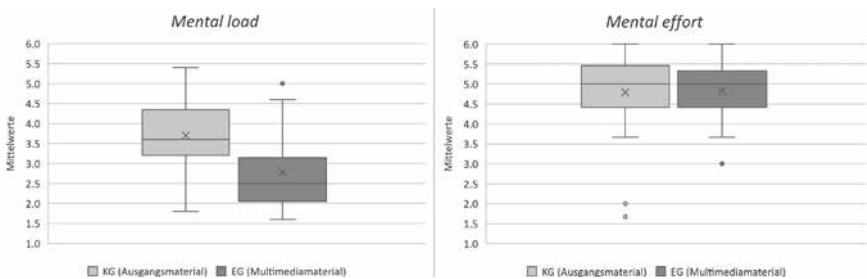


Abb. 3: Skalenmittelwerte für *Mental load* und *Mental effort* (Studie 1) für Ausgangsmaterial (KG, $n=28$) und Multimediamaterial (EG, $n = 28$)

tung, vergleichbar waren (Abb. 3; $t[1,54] = -0.17$, $p = .86$). Demgegenüber fiel der *Mental load* erwartungsgemäß bei Bearbeitung des modifizierten Multimedia-Materials im Vergleich zur Kontrollgruppe geringer aus (Abb. 3; $t[1,54] = 3.92$, $p < .001$, $d = 1.04$). Nach Cohen (1988) handelt es sich dabei um einen großen Effekt ($d > 0.8$). Vergleicht man die Lernergebnisse der beiden Verständnis-Instrumente, so zeigt sich, dass das Verständnis der synaptischen Übertragung gemessen mit der offenen Aufgabe bei Arbeit mit dem modifizierten Multimedia-Material höher ausfiel (Abb. 4; $U = 260.500$, $Z = 2.162$, $p < .05$, $r = .29$) als mit dem Ausgangsmaterial. Nach Cohen (1988) liegt die Effektgröße im oberen mittleren Bereich (großer Effekt $r > .3$). Demgegenüber unterschieden sich die Lernergebnisse im *Single-Choice-Test* nicht signifikant ($t[1,54] = 0.18$, $p = .43$).

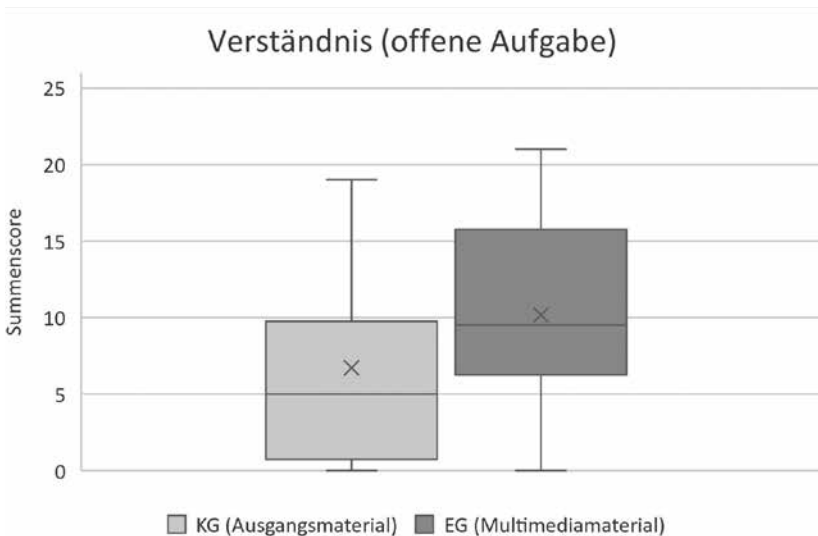


Abb. 4: Verständnis der Prozesse an der chemischen Synapse in offener Aufgabe (max. 26 Punkte; Studie 1) für Ausgangsmaterial (KG, $n = 28$) und Multimediamaterial (EG, $n = 28$)

5.2 Ergebnisse Studie 2

Ähnlich wie in Studie 1 besaßen auch die Lernenden in Studie 2 ein mittleres Niveau an Vorwissen – hier bezogen auf grundlegende neurobiologische Kenntnisse – mit im Mittel $M = 2,51$ ($SD = 1,52$) von fünf erreichbaren Punkten. Signifikante Vorwissensunterschiede zwischen den Gruppen gab es auch hier nicht ($t[1,63] = -1.71$; $p = .09$).

Ein Vergleich der Werte der beiden Gruppen hinsichtlich *Mental load* und *Mental effort* zeigt zunächst, dass sich auch hier die Lernenden in ihrem Einsatz bei der Bearbeitung des Materials, d. h. im *Mental effort*, nicht unterschieden (Abb. 5; $t[1,63] = 0.89, p = .38$). Anders als in Studie 1 zeigten sich aber keine signifikanten Unterschiede im *Mental load*, d. h. in der kognitiven Belastung bei Bearbeitung des Materials ($t[1,63] = -0.53, p = .60$). Auch signifikante Unterschiede der Gruppen im Lernerfolg zeigten sich in dieser Studie nicht (offene Aufgabe: $U = 329.500, Z = -1.791, p = .07$; *Single Choice*: $t[1,63] = -0.41; p = .34$), wenngleich die deskriptiven Werte einen gewissen Vorteil der *Picture-first*-Bedingung erahnen lassen (Abb. 6).

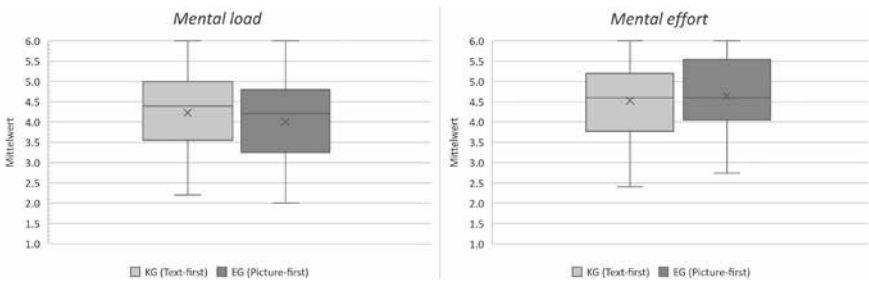


Abb. 5: Skalenmittelwerte für *Mental load* und *Mental effort* (Studie 2) für Text-first (KG, $n = 33$) und Picture-first (EG, $n = 32$)

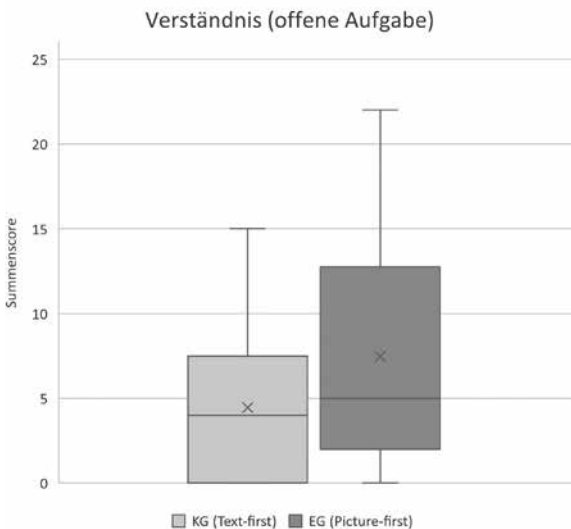


Abb. 6: Verständnis der Prozesse an der chemischen Synapse in offener Aufgabe (max. 26 Punkte; Studie 2) für Text-first (KG, $n = 33$) und Picture-first (EG, $n = 32$)

6 Diskussion

Die Ergebnisse beider Studien zeigen grundsätzlich, dass sich die Anwendung ausgewählter MMP auf die TBK einer Schulbuchseite positiv auf das Verstehen der Prozesse an der chemischen Synapse auswirken kann. Dabei war die kombinierte Anwendung von *räumlicher Kontiguität*, *Signaling* und *Segmenting* (Studie 1) erfolgreicher als die des *Sequencing* (Studie 2).

6.1 Diskussion Studie 1

Die Ergebnisse von Studie 1 zeigen, dass sich allgemeine MMP erfolgreich auf das Lernen mit TBK anwenden lassen, die komplexe biologische Prozessabbildungen enthalten. Mit einer Effektgröße im (oberen) mittleren Bereich reihen sich die Ergebnisse in die zu erwartenden Effekte ein (Kap. 2), wobei viele davon mit weniger komplexen Bildern und unter Laborbedingungen erzielt wurden, während hier sehr nah am Unterrichtsalltag gearbeitet wurde. Dass dennoch vergleichbare Effekte gemessen wurden, könnte darauf zurückgeführt werden, dass der Anwendung ausgewählter MMP hier ein umfangreicher, inhaltlich begründeter und somit stark fachdidaktisch ausgeschärfter Umgestaltungsprozess zugrunde liegt (Kap. 4.4.1). Kritisch anzumerken ist aber, dass eine kombinierte Anwendung von drei MMP zwar eine hohe ökologische Validität besitzt, aber eine nicht auflösbare Variablenkonfundierung mit sich bringt.

6.2 Diskussion Studie 2

Die Effekte in Studie 2 sind weniger klar als diejenigen in Studie 1, scheinen aber im Ansatz zu bestätigen, dass bei komplexen Fachinhalten durch ein Bild, das vor dem Text präsentiert wird, ein gedankliches Gerüst konstruiert wird, in das die Textinformationen eingegliedert werden können. Einschränkend ist anzumerken, dass die geringe Stichprobengröße ($n = 63$) nur bedingt geeignet war, kleine bis mittlere Effekte zu zeigen. Die geringe Größe des Vorteils der *Picture-first*-Bedingung könnte inhaltlich darin begründet liegen, dass die beiden von Eitel und Scheiter (2015) gefundenen Bedingungen für größere Effekte (vgl. Kap. 2), nämlich die Passung des abgefragten Wissenstyps zum zuletzt betrachteten Medium bzw. ein Arbeitsbeginn mit dem weniger komplexen Medium, hier zu keinem Vorteil führten. Zudem handelt es sich nicht um ein einfaches Bild, dessen Information „auf einen Blick“ erfasst werden kann, sondern um eine inhaltlich komplexe, detailreiche Darstel-

lung eines mehrschrittigen Prozesses (Nerdel et al., 2019). Derartige Bilder stellen bekanntermaßen gerade zu Beginn der Sek. II hohe Anforderungen an die Lernenden, da ihre Variabilität und Komplexität von der Sek. I zur Sek. II klar zunimmt (Brandstetter-Korinth, 2016), und somit die Anforderungen an die Bildlesefähigkeiten steigen. Schon das Decodieren der Bildsprache stellt eine Herausforderung dar, weil die Lernenden die Bedeutungen, die mit Darstellungs-, Steuerungs- oder Farbcodes verknüpft sind und dabei bestimmten, fachspezifischen Konventionen folgen, nicht ohne Weiteres entschlüsseln können. Das Fehlen einer dringend erforderlichen (systematischen) Förderung der piktorialen Lesefähigkeiten im naturwissenschaftlichen Unterricht wurde bereits beklagt (Koenen et al., 2020).

6.3 Gesamtdiskussion

Die Ergebnisse beider Studien ergeben, dass bei derart komplexen TBK mittlere Effekte mit materialbasierten Strategien zu erreichen sind. Aus Perspektive der Multimedia-Forschung bleibt einschränkend anzumerken, dass es zahlreiche weitere MMP mit vergleichbarer oder besserer Effektstärke gibt (z. B. Feedback, Lösungsbeispiele). Für eine stärkere Anschlussfähigkeit an die zugrundeliegende *Cognitive Load Theory* wäre es zudem konsequenter, Effekte auf den *Cognitive load* zu untersuchen (vgl. Kap. 2). Die Verwendung des hier untersuchten *Mental loads* ermöglicht die Anknüpfung an fachdidaktische Arbeiten (Krell, 2017). Aus fachdidaktischer Perspektive scheint es außerdem geboten, empirisch zu untersuchen, wie neben materialbasierten ggf. ergänzende lernerzentrierte Unterstützungsmaßnahmen gestaltet werden könnten (Scheiter et al., 2020). Diese sollten gezielter das Lesen der bildlichen Fachsprache fördern sowie auch digitale Anwendungen vorsehen. Ansatzpunkte für laufende Studien bilden neben den hier vorgestellten ersten Erkenntnissen auch unterrichtspraktische Arbeiten zur Verwendung von bildbezogenen (Text-)Erschließungsaufgaben (Lumer & Winter, 2019; Lumer & Wlotzka, 2019; Lumer, 2023) und Arbeiten zu bildbezogenen Prompts oder Vör-sätzen (Scheiter et al., 2020).

7 Relevanz und Folgerungen

Insgesamt unterstreichen die Ergebnisse das Potenzial der Anwendung bekannter MMP auch für das Lehren und Lernen mit TBK zu komplexen Inhalten und zeigen, dass eine bisher oft noch fehlende Anwendung der Prinzipien (Scheiter et al., 2020)

auf bestehende Lehr-Lernmaterialien möglich und lohnenswert ist. Fortgeschrittenes Lernen von Biologie umfasst neben den Prozessen an der chemischen Synapse viele weitere komplexe Prozesse (z. B. DNA-Replikation, Proteinbiosynthese, Stoffkreisläufe), die sowohl inhaltlich unterschiedlich herausfordernd sind als auch andersartig gestaltete, komplexe Abbildungen mit variantenreicher Bildsprache aufweisen. Eine verständnisfördernde Anwendung der MMP muss demzufolge bei jedem Inhalt an das fachliche Lernziel fachdidaktisch angepasst werden.

Literatur

- Alpizar, D., Adesope, O. O. & Wong, R. M. (2020). A meta-analysis of signaling principle in multimedia learning environments. *Educational Technology Research and Development*, 68, 2095–2119.
- Beck, C. & Nerdel, C. (2019). Biologiespezifisches Bildverständnis. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 25(1), 289–306.
- Brandstetter-Korinth, M. (2017). *Abbildungen im Biologieunterricht* (Bd. 19). Berlin: Logos Verlag.
- Eitel, A. & Scheiter, K. (2015). Picture or text first? Explaining sequence effects when learning with pictures and text. *Educational psychology review*, 27, 153–180.
- Koenen, J., Kobbe, J. & Rumann, S. (2020). Umgang mit Bildern in den Naturwissenschaften – Ein sequenziertes Training der Piktorialen Literalität. *Unterrichtswissenschaft*, 48(1), 91–112.
- Krell, M. (2017). Evaluating an instrument to measure mental load and mental effort considering different sources of validity evidence. *Cogent Education*, 4(1), 1280256.
- Lumer, J. & Winter, K. (2019). Herausforderungen und Chancen einer sprachsensiblen Textarbeit im Biologieunterricht – ein Lehr-Lern-Konzept. In Y. Danilovich & G. Putjata (Hrsg.), *Sprachliche Vielfalt im Unterricht: Fachdidaktische Perspektiven auf Lehre und Forschung im DaZ-Modul* (47–77). Wiesbaden: Springer VS.
- Lumer, J. & Wlotzka, P. (2019). Text- und Bildsprache verstehen: Den Fachsprachenerwerb mit Text-Bild-Kombinationen unterstützen. *Unterricht Chemie*, 173, 28–35.
- Lumer, J. (2023). Den Stickstoffkreislauf erarbeiten und verstehen – Sprachbewusst aufbereitete Materialien zum Lesen einer Text-Bild-Kombination. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 76(3), 199–202.

- Lumer, J., Heinen, R. & Heinicke, S. (2024). 7 Schritte zum guten Lehrtext. Text-gestalt, Roter Faden und Text-Bild-Anordnung. *Unterricht Chemie*, 199, 44–48.
- Mayer, R. E. (2009). Segmenting principle. *Multimedia learning*, 2, 175–188.
- Mayer, R. E. (2005). Cognitive theory of multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (31–48). Cambridge: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. & Pilegard, C. (2005). Principles for managing essential processing in multimedia learning: Segmenting, pretraining, and modality principles. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (31–48). Cambridge: Cambridge University Press.
- Nerdel, C., Nitz, S. & Precht, H. (2019). Kompetenzen beim Umgang mit Abbildungen und Diagrammen. In J. Groß, M. Hammann, P. Schmiemann & J. Zabel (Hrsg.), *Biologiedidaktische Forschung: Erträge für die Praxis* (147–165). Berlin: Springer.
- Scheiter, K., Richter, J. & Renkl, A. (2020). Multimediales Lernen: Lehren und Lernen mit Texten und Bildern. In H. Niegemann & A. Weinberger (Hrsg.), *Handbuch Bildungstechnologie: Konzeption und Einsatz digitaler Lernumgebungen* (31–56). Heidelberg: Springer.
- Schnaubert, L. & Schneider, S. (2022). Analysing the relationship between mental load or mental effort and metacomprehension under different conditions of multimedia design. *Frontiers in Education*, 6, 648319.
- Schnotz, W. (2002). Wissenserwerb mit Texten, Bildern und Diagrammen. In L. J. Issing (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia und Internet. Lehrbuch für Studium und Praxis* (3. Auflage, 65–81). Weinheim: Beltz.
- Schroeder, N. L. & Cenkci, A. T. (2018). Spatial contiguity and spatial split-attention effects in multimedia learning environments: A meta-analysis. *Educational Psychology Review*, 30, 679–701.
- Seufert, T. (2003). Kohärenzbildung beim Wissenserwerb mit multiplen Repräsentationen. In K. Sachs-Hombach (Hrsg.), *Was ist Bildkompetenz? Studien zur Bildwissenschaft* (117–129). Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag.
- Seufert, T. (2009). Lernen mit multiplen Repräsentationen – Gestaltungs- und Verarbeitungsstrategien. In R. Plötzner, T. Leuders & A. Wichert (Hrsg.), *Lernchance Computer. Strategien für das Lernen mit digitalen Medienverbünden* (45–66). Münster: Waxmann.
- Seufert, T., Brünken, R. (2018). Multi-Media. In D. H. Rost, J. R. Sparfeldt & S. R. Buch (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (575–582). Weinheim Basel: Beltz.
- Walory, M. & Westendorf-Bröring, E. (2015). *Biologie Heute SII Nordrhein-Westfalen Gesamtband*. Braunschweig: Westermann Schroedel.

- Ziepprecht, K. (2016). *Strategien und Kompetenzen von Lernenden beim Erschließen von biologischen Informationen aus unterschiedlichen Repräsentationen* (Bd. 15). Berlin: Logos Verlag.
- Ziepprecht, K., Jäger, D. S. & Schwanewedel, J. (2017). Charakteristika von Repräsentationen im Biologieunterricht aus Sicht von Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe II. *Zeitschrift für Didaktik der Biologie (ZDB)-Biologie Lehren und Lernen*, 21(1), 23–41.

Danksagung

Wir danken Britta Bäker und Lukas Schreiner, die im Rahmen ihrer Masterarbeiten die praktische Durchführung der Datenerhebung und Intervention übernommen haben.

Informationen über die Autor:innen

Jutta Lumer

Universität Münster, Zentrum für Didaktik der Biologie
lumer@uni-muenster.de

Christiane Konnemann

Universität Münster, Zentrum für Didaktik der Biologie
christianekonnemann@uni-muenster.de
<https://orcid.org/0000-0002-0555-1413>

Bemerkung: Der Beitrag wurde unter gleicher Beteiligung beider Autorinnen erstellt.