



Günter Daniel Rey
(Hrsg.)

Lehren und lernen mit digitalen Medien

Theorien und Design

 hogrefe

Lehren und lernen mit digitalen Medien

Lehren und lernen mit digitalen Medien

Günter Daniel Rey (Hrsg.)

Wissenschaftlicher Beirat Programmbereich Psychologie:

Prof. Dr. Guy Bodenmann, Zürich; Prof. Dr. Lutz Jäncke, Zürich; Prof. Dr. Björn Rasch, Freiburg i. Üe.;
Prof. Dr. Astrid Schütz, Bamberg; Prof. Dr. Markus Wirtz, Freiburg i. Br.; Prof. Dr. Martina Zemp, Wien

Günter Daniel Rey
(Hrsg.)

Lehren und lernen mit digitalen Medien

Theorien und Design

Unter Mitarbeit von

Maik Beege

Felix Krieglstein

Steve Nebel

Manuel Ninaus

Sascha Schneider

Lukas Wesenberg

Maria Wirzberger

Prof. Dr. Günter Daniel Rey

Technische Universität Chemnitz

Institut für Medienforschung

Straße der Nationen 12

09111 Chemnitz

Deutschland

E-Mail: guenter-daniel.rey@phil.tu-chemnitz.de

Wichtiger Hinweis: Der Verlag hat gemeinsam mit den Autoren bzw. den Herausgebern große Mühe darauf verwandt, dass alle in diesem Buch enthaltenen Informationen (Programme, Verfahren, Mengen, Dosierungen, Applikationen, Internetlinks etc.) entsprechend dem Wissensstand bei Fertigstellung des Werkes abgedruckt oder in digitaler Form wiedergegeben wurden. Trotz sorgfältiger Manuskriptherstellung und Korrektur des Satzes und der digitalen Produkte können Fehler nicht ganz ausgeschlossen werden. Autoren bzw. Herausgeber und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und keine daraus folgende oder sonstige Haftung, die auf irgendeine Art aus der Benutzung der in dem Werk enthaltenen Informationen oder Teilen davon entsteht. Geschützte Warennamen (Warenzeichen) werden nicht besonders kenntlich gemacht. Aus dem Fehlen eines solchen Hinweises kann also nicht geschlossen werden, dass es sich um einen freien Warennamen handelt. Der Verlag weist ausdrücklich darauf hin, dass im Text enthaltene externe Links vom Verlag nur bis zum Zeitpunkt des Redaktionsschlusses eingesehen werden konnten. Auf spätere Veränderungen hat der Verlag keinerlei Einfluss. Eine Haftung des Verlags ist daher ausgeschlossen.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://www.dnb.de> abrufbar.

Dieses Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Kopien und Vervielfältigungen zu Lehr- und Unterrichtszwecken, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Anregungen und Zuschriften bitte an:

Hogrefe AG

Lektorat Psychologie

Länggass-Strasse 76

3012 Bern

Schweiz

Tel. +41 31 300 45 00

info@hogrefe.ch

www.hogrefe.ch

Lektorat: Dr. Susanne Lauri

Bearbeitung: Mihrican Özdem, Landau

Herstellung: René Tschirren

Umschlagabbildung: Getty Images/Eduard Figueres; Jose Luis Petaez/lu

Satz: Mediengestaltung Meike Cichos, Göttingen

Druck und buchbinderische Verarbeitung: Multiprint OOD, Kostinbrod

Printed in Bulgaria

1. Auflage 2024

© 2024 Hogrefe Verlag, Bern

(E-Book-ISBN_PDF 978-3-456-96362-4)

(E-Book-ISBN_EPUB 978-3-456-76362-0)

ISBN 978-3-456-86362-7

<https://doi.org/10.1024/86362-000>

Nutzungsbedingungen

Der Erwerber erhält ein einfaches und nicht übertragbares Nutzungsrecht, das ihn zum privaten Gebrauch des E-Books und all der dazugehörigen Dateien berechtigt.

Der Inhalt dieses E-Books darf von dem Kunden vorbehaltlich abweichender zwingender gesetzlicher Regeln weder inhaltlich noch redaktionell verändert werden. Insbesondere darf er Urheberrechtsvermerke, Markenzeichen, digitale Wasserzeichen und andere Rechtsvorbehalte im abgerufenen Inhalt nicht entfernen.

Der Nutzer ist nicht berechtigt, das E-Book – auch nicht auszugsweise – anderen Personen zugänglich zu machen, insbesondere es weiterzuleiten, zu verleihen oder zu vermieten.

Das entgeltliche oder unentgeltliche Einstellen des E-Books ins Internet oder in andere Netzwerke, der Weiterverkauf und/oder jede Art der Nutzung zu kommerziellen Zwecken sind nicht zulässig.

Das Anfertigen von Vervielfältigungen, das Ausdrucken oder Speichern auf anderen Wiedergabegeräten ist nur für den persönlichen Gebrauch gestattet. Dritten darf dadurch kein Zugang ermöglicht werden. Davon ausgenommen sind Materialien, die eindeutig als Vervielfältigungsvorlage vorgesehen sind (z. B. Fragebögen, Arbeitsmaterialien).

Die Übernahme des gesamten E-Books in eine eigene Print- und/oder Online-Publikation ist nicht gestattet. Die Inhalte des E-Books dürfen nur zu privaten Zwecken und nur auszugsweise kopiert werden.

Diese Bestimmungen gelten gegebenenfalls auch für zum E-Book gehörende Download-Materialien.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Vorwort | 9 |
| 1 Wie Informationen verarbeitet und gespeichert werden | 11 |
| <i>Sascha Schneider</i> | |
| 1.1 Einleitung | 11 |
| 1.2 Wissensformen | 12 |
| 1.3 Gedächtnismodelle | 14 |
| 1.4 Warum Lernen nicht ohne Belastung funktioniert | 18 |
| 1.4.1 Theorie der kognitiven Belastung (CLT) | 18 |
| 1.4.2 Kritik an der CLT | 20 |
| 1.4.3 Gestaltung von Lernmedien auf Grundlage der CLT | 21 |
| 1.5 Wie Informationen aus Medien gelernt werden | 22 |
| 1.5.1 Integrierte Theorie des Text- und Bildverstehens (ITPC) | 22 |
| 1.5.2 Kognitive Theorie des multimedialen Lernens (CTML) | 24 |
| 1.5.3 Kritik an der CTML | 27 |
| 1.5.4 Gestaltung von Lernmedien auf Grundlage der CTML | 28 |
| 2 Warum Lernen nicht nur ein kognitiver Prozess ist | 39 |
| <i>Sascha Schneider</i> | |
| 2.1 Einleitung | 39 |
| 2.2 Erweiterte Theorie der kognitiven Belastung (aCLT) | 39 |
| 2.3 Metakognitive Belastung und mögliche Erweiterungen der CLT | 40 |
| 2.4 Kognitiv-affektive Theorie des Lernens mit Medien (CATLM) | 42 |
| 2.5 Integriertes kognitiv-affektives Modell des Lernens mit Multimedia (ICALM) .. | 43 |
| 2.6 Kognitiv-affektiv-soziale Theorie des Lernens in digitalen Umgebungen (CASTLE) | 44 |
| 2.7 Gestaltung von Lernmedien | 46 |
| 2.7.1 Gestaltungsbeispiele zur Unterstützung emotionaler Prozesse | 46 |
| 2.7.2 Gestaltungsbeispiele zur Unterstützung motivationaler Prozesse | 49 |
| 2.7.3 Gestaltungsbeispiele zur Unterstützung sozialer Prozesse | 53 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 3 | Whiteboard-Animationen | 69 |
| | <i>Felix Krieglstein</i> | |
| 3.1 | Einleitung | 69 |
| 3.2 | Lernen mit Whiteboard-Animationen | 70 |
| 3.2.1 | Statische versus dynamische Visualisierungen | 70 |
| 3.2.2 | Whiteboard-Animation als dynamische Visualisierung | 71 |
| 3.3 | Empirische Befundlage zu Whiteboard-Animationen | 72 |
| 3.3.1 | Medienvergleichende und nichtexperimentelle Studien | 72 |
| 3.3.2 | Weitere empirische Befunde | 75 |
| 3.4 | Gestaltungsprinzipien von Whiteboard-Animationen | 77 |
| 3.4.1 | Soziale Theorien | 77 |
| 3.4.2 | Theorie des verkörperten Lernens | 78 |
| 3.4.3 | Kognitive Theorien | 79 |
| 3.5 | Zukunftsperspektiven | 81 |
| 3.5.1 | Forschung | 81 |
| 3.5.2 | Praxis | 83 |
| 4 | Pädagogische Agenten | 89 |
| | <i>Maik Beege</i> | |
| 4.1 | Einleitung | 89 |
| 4.2 | Vielfalt in Nutzung und Implementierung | 90 |
| 4.3 | Prinzipien der Gestaltung von pädagogischen Agenten | 91 |
| 4.3.1 | Einfluss auf kognitive Prozesse | 92 |
| 4.3.2 | Einfluss auf motivationale/affektive Prozesse | 94 |
| 4.3.3 | Einfluss auf soziale Prozesse | 96 |
| 4.4 | Metaanalytische Befunde zur Lernförderlichkeit | 98 |
| 4.5 | Implikationen für Forschung und Praxis | 99 |
| 4.5.1 | Forschung | 99 |
| 4.5.2 | Praxis | 100 |
| 4.6 | Fazit | 101 |
| 5 | Lehren und Lernen mit Beispielen | 109 |
| | <i>Lukas Wesenberg</i> | |
| 5.1 | Einleitung | 109 |
| 5.2 | Das Konzept „Beispiel“ | 109 |
| 5.2.1 | Struktur von Beispielen | 109 |
| 5.2.2 | Lernziel | 110 |
| 5.2.3 | Lernprozess | 111 |
| 5.3 | Beispielarten | 112 |
| 5.3.1 | (Nicht ausgearbeitete) Beispiele | 112 |
| 5.3.2 | Ausgearbeitete Beispiele | 113 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 5.3.3 | Modellbeispiele | 113 |
| 5.4 | Vorteile von Beispielen | 114 |
| 5.4.1 | Kognitive Entlastung | 115 |
| 5.4.2 | Präferenz der Lernenden | 117 |
| 5.5 | Nachteile von Beispielen | 117 |
| 5.6 | Gestaltung von Beispielen | 119 |
| 5.6.1 | Steigerung der mentalen Verarbeitung | 120 |
| 5.6.2 | Hervorhebung von Strukturmerkmalen | 122 |
| 5.6.3 | Reduktion der kognitiven Belastung | 125 |
| 5.7 | Fazit | 127 |
| 6 | Digitale Lernspiele | 133 |
| | <i>Steve Nebel und Manuel Ninaus</i> | |
| 6.1 | Einleitung | 133 |
| 6.2 | Was sind digitale Lernspiele eigentlich? | 133 |
| 6.3 | Faktoren digitaler Lernspiele | 135 |
| 6.3.1 | Kognitive Faktoren | 135 |
| 6.3.2 | Motivationale Faktoren | 137 |
| 6.3.3 | Emotionale Faktoren | 138 |
| 6.3.4 | Soziale Faktoren | 140 |
| 6.4 | Ein Modell des Lernens mit digitalen Lernspielen | 142 |
| 6.5 | Studienergebnisse und Gestaltungsempfehlungen | 144 |
| 6.5.1 | Metaanalysen | 144 |
| 6.5.2 | Aktuelle Empirische Befunde | 145 |
| 6.6 | Fazit | 147 |
| 7 | Intelligente Systeme für das Lehren und Lernen | 155 |
| | <i>Maria Wirzberger</i> | |
| 7.1 | Einleitung | 155 |
| 7.2 | Charakteristika und Methoden intelligenter Systeme | 155 |
| 7.3 | Intelligente Technologien in der Bildung | 159 |
| 7.4 | Intelligente Tutorielle Systeme (ITS) | 162 |
| 7.5 | Educational Data Mining und Learning Analytics | 165 |
| 7.6 | Chatbots als virtuelle Unterstützung der Lehre | 167 |
| 7.7 | Ethische Implikationen intelligenter Bildungstechnologien | 170 |
| 7.8 | Fazit | 174 |
| | Die Autor:innen | 183 |
| | Sachwortverzeichnis | 185 |

Vorwort

Im Jahr 2009 erschien das von mir verfasste Lehrbuch mit dem Titel „E-Learning“. Es befasste sich mit dem Lehren und Lernen mit digitalen Medien zu einer Zeit, in der der Begriff „elektronische Medien“ noch geläufig war, und stellte ausgewählte Theorien als Grundlage für zahlreiche Empfehlungen zur Gestaltung digitaler Lernmedien vor. Darüber hinaus informierte es über die einzelnen Schritte empirischer Studien zum Lehren und Lernen mit digitalen Medien. Nach 15 Jahren erscheint nun anstelle einer zweiten Auflage dieses Buches eine Neuerscheinung zu genau dieser Thematik, diesmal in Form eines Herausgeberwerks. Die Autorinnen und Autoren sind überwiegend als (Junior-)Professorinnen und Professoren an Hochschulen und Universitäten tätig, verfügen über umfangreiche und einschlägige Expertise auf dem jeweiligen Gebiet und werden die Forschung der nächsten Jahre in diesem Bereich prägen.

In den letzten 15 Jahren hat sich das Forschungsfeld zum Lehren und Lernen mit digitalen Medien erheblich weiterentwickelt. So haben pauschale Vergleiche in aktuellen Forschungsarbeiten deutlich an Bedeutung abgenommen und sind nur noch in wenigen Publikationen zu finden. Zahlreiche experimentelle Studien und Metaanalysen bilden inzwischen die empirische Grundlage der einzelnen Gestaltungseffekte und der ihr zugrunde liegenden (Rahmen-)Modelle und (Rahmen-)Theorien. Darüber hinaus wurden weitere Gestaltungsprinzipien wie etwa das Anthropomorphisierungsprinzip, das Prinzip des dynamischen Zeichnens oder das Wahlprinzip postuliert und

empirisch überprüft, was zu einer Zunahme von Gestaltungsempfehlungen für das Lernen, vor allem das multimediale Lernen, geführt hat. Neue Messinstrumente, etwa zur Erfassung der kognitiven Belastung, wurden konzipiert und validiert und lassen sich in zukünftigen Forschungsarbeiten zum Lehren und Lernen mit digitalen Medien nun gewinnbringend einsetzen. Während in dem Lehrbuch von 2009 Themen wie Whiteboard-Animationen, pädagogische Agenten, digitale Lernspiele und Künstliche Intelligenz entweder gar nicht, nur im Ausblick oder randständig aufgegriffen wurden, sind diese nun wesentlicher Bestandteil der vorliegenden Neuerscheinung.

Von zentraler Bedeutung für die Weiterentwicklung des Forschungsfeldes ist die Perspektivenerweiterung, die neben der Untersuchung kognitiver Prozesse beim Lehren und Lernen nun auch motivationale und emotionale sowie neuerdings auch soziale und kulturelle Prozesse in den Blick nimmt. Während in dem Lehrbuch aus dem Jahr 2009 eine starke Fokussierung auf kognitive Aspekte bestand und lediglich erste Ansätze existierten, diese um motivationale und emotionale Prozesse zu erweitern, können nun neuere (Rahmen-)Modelle und (Rahmen-)Theorien vorgestellt werden, die diese Prozesse explizit berücksichtigen. Auch die grundsätzliche Herangehensweise in empirischen Studien hat sich gewandelt, sodass diese Prozesse in einer Vielzahl von Arbeiten in den Fokus gerückt sind. Zu nennen ist hier beispielsweise der „Emotional Design“-Ansatz, der in den letzten Jahren in zahlreichen experimentellen Studien zum Lehren und Lernen mit digita-

len Medien herangezogen wurde und bereits durch mehrere Metaanalysen gestützt wird.

Die sieben Buchkapitel dieses Herausgeberwerks befassen sich mit ausgewählten Themen zum Lehren und Lernen mit digitalen Medien. In den ersten beiden Kapiteln von Sascha Schneider werden die Grundlagen erörtert. Das erste Kapitel befasst sich dabei mit den kognitiven Aspekten, also der Informationsaufnahme, -verarbeitung und -speicherung. Es greift hierfür auf zentrale (kognitionspsychologische) Theorien zurück, auf deren Grundlage eine Vielzahl an Empfehlungen zur Gestaltung von Lernmedien abgeleitet und empirisch überprüft wurde. Anschließend geht Sascha Schneider im zweiten Kapitel auf die nichtkognitiven Prozesse beim Lehren und Lernen ein und widmet sich motivationalen, emotionalen und sozialen sowie metakognitiven Prozessen. Das dritte Kapitel von Felix Kriegelstein behandelt auf dieser Basis Whiteboard-Animationen, die sich schon seit etlichen Jahren großer Beliebtheit erfreuen. Dazu werden diverse Gestaltungsprinzipien erörtert. Im vierten Kapitel stellt Maik Beege pädagogische Agenten in digitalen Lernumgebungen vor, die ebenfalls kognitive, motivationale, emotionale und soziale Prozesse beim Lehren und Lernen mit Medien beeinflussen können. Das fünfte Kapitel von Lukas Wesenberg widmet sich dem Lehren und Lernen mit Beispielen. Dieses Thema, das bereits im Lehrbuch „E-Learning“ aufgegriffen wurde, ist mittlerweile deutlich umfangreicher erforscht als noch im Jahr 2009, sodass eine umfangreiche Aktualisierung und Erweiterung notwendig wurde. Steve Nebel und Manuel Ninaus behandeln im sechsten Kapitel kognitive, motivationale, emotionale und soziale Faktoren digitaler Lernspiele und skizzieren auf dieser Basis ein Modell sowie die empirische Befundlage und Gestaltungsempfehlungen zu digitalen Lernspielen.

Komplettiert wird das Herausgeberwerk durch ein Buchkapitel zu intelligenten Systemen für das Lehren und Lernen von Maria Wirzberger, in dem zahlreiche aktuelle Themen zur Künstlichen Intelligenz im Bildungsbereich aufgegriffen werden. Neben der Mikroebene erörtert die Autorin auch Aspekte auf der Meso- und Makroebene.

In allen Beiträgen wird auf aktuelle Forschungsliteratur zurückgegriffen, und es werden – wie im Lehrbuch aus dem Jahr 2009 – Empfehlungen zur Gestaltung benannt, die den drei von Mayer postulierten Kriterien genügen, nämlich der theoretischen Fundierung, der empirischen Bewährung und der praktischen Relevanz. Damit gemeint ist, dass die Gestaltungsempfehlungen auf Basis von (Rahmen-)Modellen und (Rahmen-)Theorien postuliert werden, sich mittels zumeist experimenteller Studien und Metaanalysen hinsichtlich ihrer Lernwirksamkeit empirisch bewährt haben und zudem dazu beitragen, die Lernleistungen in realen Lehr-Lern-Umgebungen tatsächlich zu verbessern, somit von praktischer Relevanz sind.

Das Herausgeberwerk soll alle Lernende und Dozierende, Praktikerinnen und Praktiker sowie Forschende ansprechen, die sich für die (psychologischen) Grundlagen des Lehrens und Lernens mittels digitaler Medien interessieren. Ihnen wünsche ich nun interessante Einblicke in den aktuellen Stand der Forschung und viel Spaß beim Lesen dieses Buches.

Hinweis zur gendergerechten Schreibung: Die Autoren und die Autorin dieses Herausgeberwerks haben beschlossen, jeweils selbst die Form der gendergerechten Schreibung zu wählen.

Aschaffenburg, im Frühjahr 2024
Günter Daniel Rey

1 Wie Informationen verarbeitet und gespeichert werden

Sascha Schneider

1.1 Einleitung

Das Lernen kann unter verschiedenen philosophischen Gesichtspunkten betrachtet werden; einer der bekanntesten Ansätze ist in der kognitiven Sichtweise des Lernens zu finden (für einen Überblick siehe Woolfolk, 2016). Im Kern gehen kognitive Psycholog*innen davon aus, dass Menschen aktive Informationsverarbeitende sind und über mentale Prozesse verfügen, um Informationen auszuwählen, zu verarbeiten, zu speichern (oder zu vergessen) und abzurufen. Dieser informationsverarbeitende Ansatz betont, dass Lernende zielrelevante Aufmerksamkeit auf Informationen richten, diese Informationen verarbeiten, die Informationsverarbeitung überwachen und Informationen speichern (für einen Überblick siehe Bauer & Larkina, 2016; Casey, Goodyear & Armour, 2016; Reynolds & Romano, 2016).

Nach Siegler, Eisenberg, DeLoache und Saffran (2016) gibt es drei Hauptprozesse, die bei der kognitiven Verarbeitung von Informationen im Laufe der Lebensspanne zum Tragen kommen: Kodierung, Automatismus und Strategiekonstruktion. Die Kodierung (auch „Enkodierung“) ist der Prozess der Informationsspeicherung selbst. Um Informationen zu kodieren, müssen sowohl relevante Informationen ausgewählt und verstanden als auch irrelevante Informationen ignoriert werden. Da jedoch die Informationsflut im Laufe des Lebens zunimmt, entwickeln die Lernenden Mechanismen, all diese Informationen zu reduzieren, sodass die Last ihrer Verarbeitung für das Gehirn nicht immer gleich groß bleibt. Diese Mechanismen lau-

fen automatisch ab und spiegeln den Grad der Anstrengung wider, die erforderlich ist, um neue Informationen zu kodieren. Allerdings verfügen die Lernenden nicht von Anfang an über ein trainiertes Repertoire solcher Automatisierungsmechanismen, sondern müssen auch diese erlernen und verfeinern. Dieser Prozess wird als Strategiekonstruktion bezeichnet und umfasst nicht nur Enkodierungsstrategien, sondern auch Strategien der Selbstmodifikation (Siegler et al., 2016), was bedeutet, dass die Strategien ständig an frühere Lernerfahrungen angepasst werden.

Bevor Informationen jedoch kodiert werden können, müssen sie zunächst ihren Weg zu den Verarbeitungszentren unseres Gehirns finden. Mit anderen Worten: Man muss sich geistig auf bestimmte Informationen konzentrieren. Diese Fokussierung der geistigen Ressourcen wird als Aufmerksamkeit bezeichnet (Sanrock, 2017). Aufmerksamkeit ist eines der ältesten Konzepte, das von Psycholog*innen untersucht wurde. Im Jahr 1890 schrieb William James, dass Aufmerksamkeit „die Inbesitznahme eines von scheinbar mehreren gleichzeitig möglichen Objekten oder Gedankengängen durch den Verstand in klarer und anschaulicher Form ist. Fokussierung und Konzentration des Bewusstseins gehören zu seinem Wesen“ (S. 403–404). Aus kognitivistischer Sicht kann Aufmerksamkeit als Ressourcenallokation beschrieben werden; das bedeutet, dass die begrenzten kognitiven Ressourcen der Lernenden einer bestimmten Lernaufgabe zugewiesen werden (Anderson, 2005). Allerdings muss die Aufmerksamkeit als Engpass der Informationsauf-

nahme verstanden werden, da nur eine begrenzte Menge an Informationen gleichzeitig fokussiert und aufgenommen werden kann (Goldstein, 2014). Bei einer Vielzahl von Informationen können also nicht alle Informationen mit Aufmerksamkeit versehen werden, d. h., es besteht eine Unaufmerksamkeitsblindheit (für einen Überblick siehe z. B. Chabris & Simons, 2010). Sobald die Informationen diesen Aufmerksamkeitsengpass durchlaufen haben, können sie von den Lernenden verarbeitet und in Wissen umgewandelt werden.

1.2 Wissensformen

Das Hauptergebnis des Lernens kann als Wissen oder Können definiert werden. In der Geschichte haben viele Philosoph*innen und empirisch Forschende versucht zu definieren, was Wissen ist, angefangen bei Platon und Aristoteles und ihrer entwickelten Erkenntnistheorie.

Eine Grundannahme des Repräsentationalismus ist, dass Informationen über die Welt in unserem Geist so repräsentiert sind, dass kognitive Prozesse mit diesen Repräsentationen arbeiten können (Rumelhart & Norman, 1988). In ihrem frühen Modell definierten Rumelhart und Norman (1988) diese Repräsentationen als Symbole, die ins Gedächtnis transferiert und dort gespeichert werden. Auf diese Weise konnten die Forscher Formeln und Operationen aufstellen, die den Lernprozess erklären. Auch wenn man heute zunehmend von der Vorstellung abrückt, dass solche Repräsentationen allein durch Formeln beschrieben werden können (Shutkin, 2019), hilft die Vorstellung von einer Reduzierung von Wissen als Repräsentation im Gedächtnis, den Lernprozess besser zu verstehen.

Dem Rationalismus zufolge ist Wissen das Ergebnis eines Informationsverarbeitungs- oder Argumentationsprozesses, der sich von den sensorischen Erfahrungen des Menschen unterscheidet (Russell, 1972). Im Gegensatz dazu vertreten empirisch arbeitende Forschende die Auffassung, dass Wissen nicht von solchen Sin-

neseindrücken getrennt werden kann (Sellars, 1956). Trotz dieser philosophischen Debatte über die Definition von Wissen haben Forschende versucht, verschiedene Arten von Wissen zu unterscheiden, um Zusammenhänge mit Untergruppen von Wissen beschreiben zu können.

Geary (2008) z. B. unterscheidet zwischen biologisch primärem und biologisch sekundärem Wissen. Mit biologisch primärem Wissen sind Informationen gemeint, die relativ mühelos erworben werden können, einschließlich Fähigkeiten, die in den ersten Lernjahren automatisiert werden, wie das Erkennen von Gesichtern, das Sprechen der Muttersprache sowie das Planen von Handlungen und das Lösen von Hindernissen. Im Gegensatz dazu handelt es sich beim biologisch sekundären Wissen um Informationen, die mit Bewusstsein und geistiger Anstrengung ausgewählt, verstanden und gespeichert werden müssen. So wird das Zuhörenlernen dem Primärwissen und das Lesenlernen – ein anstrengender Prozess, der in der Grundschule gelernt wird – dem biologischen Sekundärwissen zugeordnet. Aber auch das Lesen kann als Primärwissen eingestuft werden, wenn die Prozesse automatisiert sind. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Informationen, die für Lernende neu sind und in Lernmaterialien präsentiert werden, in der Regel Sekundärwissen darstellen.

Dombrowski, Rotenberg und Bick (2013) unterscheiden drei Arten von Wissen:

- Erfahrungswissen ist das, was Menschen in direkter Interaktion mit einer Umgebung erlangen (z. B. die Erfahrung, dass ein Ofen heiß sein kann).
- Fertigkeiten sind das Wissen darüber, wie man Dinge tut. Damit sind Fertigkeiten mit einer episodischen Komponente verbunden und werden daher auch als prozedurales Wissen oder Know-how bezeichnet. Solche Fertigkeiten müssen jedoch nicht auf früheren Erfahrungen im gleichen Bereich beruhen, sondern können auch auf Erfahrungen in einem anderen Bereich (d. h. Intuition). Darunter kann auch strategisches Wissen

(Posner & McLeod, 1982) subsumiert werden, definiert als Wissen, das zur Lösung neuer Probleme oder Aufgaben eingesetzt wird.

- Wissensansprüche beinhalten Wissen, das in unserem Gehirn als Produkt unseres Denkprozesses gespeichert ist, unabhängig vom Wahrheitsgehalt dieses Wissens. Für die Kategorie der Wissensansprüche gibt es viele Synonyme, wie z.B. deklaratives Wissen (De Jong & Ferguson-Hessler, 1996) oder konzeptuelles Wissen (Greeno, 1978).

Wissen kann auch durch sein vordefiniertes Lehrziel unterschieden werden. Zu diesem Zweck haben mehrere Forschende versucht, hierarchische Taxonomien zu erstellen, die die Relevanz des erworbenen Wissens für eine bestimmte Lehrmethode definieren. Bloom, Englehart, Furst, Hill und Krathwohl (1956) entwickelten beispielsweise eine Taxonomie mit sechs Kategorien, beginnend mit dem Erinnern als niedrigste erreichbare Funktion des Wissens und dem Schaffen als höchste erreichbare Funktion des Wissens. Anderson und Krathwohl (2001) untersuchten und überprüften 19 andere Taxonomien und überarbeiteten die Bloom'sche Taxonomie. Andere Forschende wie Clarkson, Bishop und Seah (2010) entwickelten eine fünfstufige Taxonomie, indem sie ebenfalls die ursprüngliche Bloom'sche Taxonomie berücksichtigten, aber auch affektive Dimensionen einschlossen. Marzano und Kendall (2001, 2007) entwickelten eine weitere Taxonomie, die kognitive, affektive, selbstorientierte, metakognitive und psychomotorische Fähigkeiten umfasst. Nach Mayer (2001) kann das beim multimedialen Lernen erworbene Wissen in zwei Kategorien eingeteilt werden, die das Ziel des Wissens betreffen. Das eine Ziel ist das Erlernen der Fähigkeit, Informationen abzurufen, wiederzuerkennen und zu reproduzieren (d.h. Behalten), das zweite Ziel das Erlernen der Fähigkeit, Informationen zu verstehen und sie in neuen Kontexten anzuwenden (d.h. Transfer).

Andere Kategorien werden verwendet, um die Qualität des Wissens zu beschreiben und nicht die Art des sensorischen Inputs, den ein Mensch hat. Beispielsweise wird zwischen oberflächlichem und tiefem Wissen unterschieden; je stärker Wissen mit externen Informationen verbunden ist und in Konzepte oder Prinzipien umgesetzt wird, desto mehr handelt es sich um tiefes Wissen (z. B. De Jong & Ferguson-Hessler, 1996; Marton & Säljö, 1976). Paivio (1975) erklärte in seiner dualen Kodierungshypothese, dass Wissen auch unterteilt werden kann in Propositionen (d.h. verbale Darstellungen von Informationen) und Bilder (d.h. bildliche oder analoge Darstellungen von Informationen). In seiner Arbeit schlug er auch vor, dass es zwei Kanäle zur Verarbeitung dieser verschiedenen Arten von Wissen gibt, wobei beide Kanäle ihre eigene Kapazität haben. Eine der wichtigsten Unterscheidungen von Wissen bei der Betrachtung formaler Lernprozesse ist in den Konzepten des allgemeinen und des bereichsspezifischen Wissens zu sehen (De Jong & Ferguson-Hessler, 1996). Während allgemeines Wissen Fähigkeiten meint, die in allen Lernsituationen angewendet werden können (d.h. bereichsunabhängig), wie z. B. Problemlösung (z. B. Polya, 1957, 1973), kann bereichsspezifisches Wissen als Wissen beschrieben werden, das für bestimmte Lernthemen benötigt wird, wie z. B. bestimmte Konzepte. Wenn man beispielsweise lernen will, wie ein Motor funktioniert, muss man über bestimmte Teile des Motors wie Kolben oder Bremsen Bescheid wissen. Dieses domänenspezifische Wissen ist daher für die Untersuchung spezifischer Lerneffekte von wesentlicher Bedeutung.

Wissen wird jedoch nicht nur lose im Menschen gespeichert, sondern in Verbindung mit anderem Wissen, das im Lernmaterial präsentiert wird, also mit Wissen, das zuvor gespeichert wurde. Anderson und Pearson (1988) schlugen das Konzept des Schemas vor, um dieses Phänomen zu beschreiben.

Definition: Schema

Ein Schema ist ein kognitives Konstrukt von organisiertem Wissen in einer Weise, in der Informationen miteinander in Beziehung stehen, also als ein Netz von Informationen strukturiert sind.

Ein Schema kann sich in seiner Komplexität unterscheiden, je nachdem, wie viele Informationseinheiten darin gespeichert sind (Sweller, van Merriënboer & Paas, 1998). Ein Spielschema kann sich beispielsweise – je nach der Erfahrung des Lernenden – von einem einfachen Satz von Regeln, die er sich durch das Anschauen des Spiels im Fernsehen angeeignet hat, bis hin zu einem komplexen Satz von Handlungsweisen, die das Spiel ausführen, unterscheiden. Je komplexer und automatisierter der Informationsabruf eines solchen Schemas ist, desto leichter kann dieses Schema in neuen Situationen angewendet werden und desto weniger Aufwand muss für die Verarbeitung neuen Wissens betrieben werden. Es gibt aber auch Sonderfälle von Schemata, bei denen das gespeicherte Ereignis oder die Situation eine geordnete Menge von Handlungen war. Ein Besuch in einem Schnellrestaurant stellt beispielsweise ein solches geordnetes Ereignis dar. Die Menschen wissen, was sie zu tun haben, wenn sie ein solches Restaurant betreten. Dieses geordnete Schema wird in der Literatur auch als Skript bezeichnet (Bransford & Johnson, 1972; siehe auch McBride & Cutting, 2017).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Wissen weitgehend bestimmt, was wir beachten, wahrnehmen, lernen, erinnern und vergessen (Bransford, Brown & Cocking, 2000; Sawyer, 2006). Um zu erklären, wie Informationen verarbeitet und Wissen gespeichert wird, wurden verschiedene Modelle von Gehirnsystemen (d. h. Gedächtnismodelle) entwickelt, die im nächsten Unterkapitel dargestellt werden.

1.3 Gedächtnismodelle

In der kognitiven Psychologie wurden bisher mehrere unterschiedliche Konzeptualisierungen des Gedächtnisses vorgeschlagen. Eines der frühesten und meist zitierten Modelle ist das Multi-Store-Modell von Atkinson und Shiffrin (1968). Es besagt, dass drei Komponenten für die Informationsverarbeitung relevant sind und somit das menschliche Gedächtnis ausmachen:

- **Sensorisches Register:** Äußere Reize, die mit den Sinnen wahrgenommen werden, werden zunächst im sogenannten sensorischen Register in ihrem jeweiligen modalen Kode gespeichert. Die Funktion des sensorischen Registers besteht darin, diese Reize nur für eine kurze Zeit von einigen 100 Millisekunden zu speichern, damit sie im weiteren Verlauf kognitiv verarbeitet werden können.
- **Kurzzeitspeicher:** Wird die Aufmerksamkeit nicht auf die im sensorischen Register gespeicherten Informationen gelenkt, verfallen sie sehr schnell aus diesem Gedächtnisbestandteil. Wenn sie beachtet werden, gelangen die Informationen in den Kurzzeitspeicher (Arbeitsgedächtnis). Die Funktion dieser Komponente besteht darin, die neuen sensorischen Reize und bereits gelernten Informationen, die aus der dritten Gedächtniskomponente, dem Langzeitspeicher, abgerufen werden können, so lange aufzubewahren, wie sie zur Verarbeitung und Integration der Informationen benötigt werden. Hier findet die bewusste Verarbeitung von Informationen statt. Atkinson und Shiffrin (1968) gehen davon aus, dass die maximale Zeitspanne dieser Komponente etwa 30 Sekunden beträgt. Durch bestimmte interne Einübungsprozesse kann diese Zeitgrenze jedoch überschritten werden. Gleichzeitig ist die Kapazität des Systems in Bezug auf die Anzahl der gleichzeitig verarbeitbaren Informationselemente stark begrenzt.
- **Langzeitspeicher:** Nach erfolgreicher Verarbeitung im Kurzzeitspeicher wird die Infor-

mation zur dauerhaften Speicherung in das Langzeitgedächtnis übertragen. Die Autoren gehen davon aus, dass die Wahrscheinlichkeit, dass eine Information in das Langzeitgedächtnis übertragen wird, positiv von der Zeit beeinflusst wird, in der die Information im Kurzzeitgedächtnis gespeichert ist. Sie setzen weiterhin voraus, dass die Kapazität des Langzeitspeichers im Prinzip unbegrenzt ist und normalerweise nicht mit der Zeit schwindet. Allerdings könnten Zeit oder Interferenzen das Abrufen dieser Informationen erheblich erschweren oder verhindern.

Die Konzeptualisierung der menschlichen Informationsverarbeitung von Baddeley und Hitch (1974) basiert auf dem Modell von Atkinson und Shiffrin (1968). Allerdings haben die Forscher die Komponente des Arbeitsgedächtnisses weiter ausdifferenziert. Aufgrund vieler empirischer Befunde (z. B. Baddeley, Thomson & Buchanan, 1975; Conrad, 1964) gehen sie davon aus, dass Informationen im Arbeitsgedächtnis nach Modalitäten getrennt verarbeitet werden und dass das Arbeitsgedächtnis aus vier Subsystemen besteht. Die Modalitäten sind

- verbale und akustische Informationen wie Töne oder gesprochene Sprache, die im phonologischen Loop-Subsystem verarbeitet werden, und
- visuelle oder räumliche Informationen, die im visuospatialen Skizzenblock-Subsystem verarbeitet werden.

Beide Komponenten haben jeweils ihre eigenen unabhängigen Speicherkapazitäten. Die phonologische Schleife kann weiter unterteilt werden in

- den phonologischen Eingabespeicher, der in der Lage ist, Informationen für maximal 2 Sekunden zu speichern, und
- den artikulatorischen Kontrollprozess, der für die subvokale Wiederholung der gespeicherten Informationen zuständig ist, wodurch die Gedächtnisspur aufgefrischt wird

und eine Speicherung von mehr als 2 Sekunden ermöglicht wird.

Das Konzept der phonologischen Schleife wurde ausgiebig erforscht und konnte viele Phänomene wie den phonologischen Ähnlichkeitseffekt (Conrad, 1964) und den Wortlängeneffekt (Baddeley et al., 1975) erklären. Man geht auch davon aus, dass der Skizzenblock ein Multikomponenten-Subsystem ist, das einen Speicher für visuelle Informationen, einen für räumliche Informationen und eine Komponente für Koordination und Kontrolle umfasst (Baddeley, 2001).

Das dritte Subsystem des Arbeitsgedächtnisses ist die zentrale Exekutive, die für die Koordinierung, Übertragung und Manipulation von Informationen im Arbeitsgedächtnis zuständig ist. Obwohl es über keine eigene Speicherkapazität verfügt, lenkt es die Aufmerksamkeit und entscheidet somit, welche Informationen in das Arbeitsgedächtnis gelangen, teilt die Informationen auf die anderen Teilsysteme auf und verschiebt die verarbeiteten Informationen in das Langzeitgedächtnis.

Das vierte Subsystem ist der episodische Puffer, der später von Baddeley (2000) als Erweiterung des ursprünglichen Drei-Komponenten-Modells des Arbeitsgedächtnisses (Baddeley & Hitch, 1974) hinzugefügt wurde. Die Notwendigkeit dieser Ergänzung ergab sich aus mehreren widersprüchlichen empirischen Befunden (Baddeley, 2000). So konnte das alte Modell beispielsweise nicht erklären, warum Menschen in der Lage sind, die gleiche Anzahl von bedeutungsvollen Sätzen zu behalten, unabhängig von der Anzahl der darin enthaltenen Wörter oder Buchstaben (Baddeley, 2000, 2001; Baddeley, Vallar & Wilson, 1987). Der episodische Puffer löste dieses Problem, da er als dritte Speicherkomponente des Arbeitsgedächtnisses betrachtet wird, die Informationen in Form von integrierten, multimodalen Codeblöcken speichert. Er ist episodischer Natur, da verschiedene sensorische Codes kombiniert werden können, um ein sinnvolles Erfahrungsgedächtnis zu bilden. Darüber hinaus spezialisierte Baddeley (2001)

später die Langzeitgedächtniskomponente und ihre Beziehungen zum Arbeitsgedächtnis. Das neue Modell sieht (analog zum Arbeitsgedächtnis) einen separaten permanenten Speicher für artikulatorische Informationen, visuell-räumliche Informationen und episodische Informationen vor. Diese sind direkt mit den jeweiligen Komponenten des Arbeitsgedächtnisses verbunden, haben aber auch Verbindungen zu den anderen Komponenten des Langzeitgedächtnisses und ermöglichen so den Übergang von Informationen in verschiedene Kodes.

Craik und Lockhart (1972) entwarfen ein anderes Konzept des Arbeitsgedächtnisses, indem sie den Schwerpunkt von den Modulen und der Struktur des Gedächtnisses auf die Frage verlegten, wie Informationen verarbeitet werden müssen, um erfolgreich behalten zu werden. Sie behielten zwar die Idee eines dichotomen Gedächtnissystems mit einem primären Gedächtnis (Kurzzeitgedächtnis) und einem sekundären Gedächtnis (Langzeitgedächtnis) bei, wandten sich aber entschieden gegen die Auffassung von Atkinson und Shiffrin (1968), dass die Dauer der Speicherung neuer Informationen im Arbeitsgedächtnis die Wahrscheinlichkeit der Übertragung in das Langzeitgedächtnis bestimmt. Die Forscher argumentieren, dass nicht die Dauer, sondern die Tiefe der Verarbeitung für den Erfolg des Gedächtnisses entscheidend ist.

Definition: Verarbeitungstiefe

Die Verarbeitungstiefe ist der Grad der semantischen oder kognitiven Analyse eines Reizes in einem Kontinuum.

Craik und Tulving (1975) haben später gezeigt, dass eine oberflächliche Verarbeitung wie die orthografische Bewertung, ob ein Wort Großbuchstaben enthält, weniger effektiv ist als eine tiefere Verarbeitung wie die semantische Bewertung, ob das gleiche Wort in einen bestimmten Satz passt. Da die Verarbeitungstiefe in ei-

nem solchen Versuchsaufbau wahrscheinlich mit der Verarbeitungszeit verwechselt werden kann, führten Craik und Tulving (1975) ein weiteres ähnliches Experiment durch. In diesem Experiment kontrollierten sie die Zeit und fanden dieselbe Überlegenheit der Verarbeitungstiefe. Sie zeigten, dass eine kurze, aber tiefe Bewertung von Wörtern effektiver ist als eine lange, aber oberflächliche Bewertung desselben Wortes. Daraus schlossen die Autoren, dass die Zeit der Wiederholung im Arbeitsgedächtnis für das Erkennen oder Abrufen nicht produktiv ist, es sei denn, die Bedeutung des Reizes wird semantisch weiter ausgearbeitet.

Tulving (1972) entwarf ein weiteres Modell, das vom Grundmodell von Atkinson und Shiffrin (1968) insofern abweicht, als es nicht mehr zwischen kurzfristigen und langfristigen, sondern zwischen qualitativ unterschiedlichen Systemen unterscheidet. Sein seriell-parallel-unabhängiges Modell geht von drei hierarchisch strukturierten Teilsystemen aus:

- Im Wahrnehmungsgedächtnis (untere Ebene) sind basale Eigenschaften von Objekten und einfache Reiz-Reaktions-Assoziationen gespeichert.
- Im semantischen Gedächtnis (mittlere Ebene) ist das Weltwissen gespeichert, z. B. Fakten über die Umwelt, die ein Mensch im Laufe seines Lebens gelernt oder erzählt bekommen hat.
- Im episodischen Gedächtnis (obere Ebene) sind die persönlichen Erfahrungen gespeichert. Alles Wissen im episodischen Gedächtnis ist daher durch einen individuellen Raum-Zeit-Bezug gekennzeichnet. Wenn eine Person solches Wissen abrufen, ist sie nicht nur in der Lage, eine gelernte Information abzurufen, sondern auch, sich an den Kontext oder die Situation zu erinnern, in der die Information gelernt wurde.

Tulving bezeichnet folglich den Abruf aus dem semantischen Gedächtnis als Wissen und den Abruf aus dem episodischen Gedächtnis als Erinnern.

Zusätzlich zu dieser Annahme über die hierarchische Gedächtnisstruktur postuliert das Modell drei weitere Annahmen, und zwar über die Enkodierung, die Speicherung und den Abruf:

- Zur Enkodierung: Informationen werden seriell zwischen Systemen übertragen und gespeichert. Das heißt, wenn etwas im episodischen Gedächtnis der höheren Ebene gespeichert wird, muss es zuvor auch im Wahrnehmungsgedächtnis der unteren Ebene und im semantischen Gedächtnis der mittleren Ebene gespeichert worden sein. Wenn etwas im semantischen Gedächtnis gespeichert wird, muss es zuvor im Wahrnehmungsgedächtnis gespeichert worden sein. Obwohl die Enkodierung im Wahrnehmungsgedächtnis erfolgt, bedeutet dies nicht, dass die Enkodierung sich auch auf die oberen Gedächtnissysteme ausdehnen muss.
- Zur Speicherung: Die Speicherung erfolgt in den drei Systemen parallel. Dies bedeutet, dass ein und dasselbe Ereignis oder Objekt potenziell in allen drei Systemen gleichzeitig gespeichert werden kann. So werden beispielsweise die oberflächlichen Merkmale eines Autos im perzeptiven Gedächtnis gespeichert, die Automarke im semantischen Gedächtnis und die Erinnerung an die Situation, in der man das Auto zum ersten Mal fuhr, im episodischen Gedächtnis.
- Zum Abruf: Das Abrufen von Informationen ist systemunabhängig. Das bedeutet, dass Informationen aus dem semantischen Gedächtnis abgerufen werden können, ohne dass gleichzeitig verwandte Informationen aus den beiden anderen Systemen abgerufen werden müssen.

Cowan (1988) entwickelte später das Modell der eingebetteten Prozesse. Seine Implikationen stimmen weitgehend mit denen der Multistore-Modelle (Atkinson & Shiffrin, 1968; Baddeley & Hitch, 1974; Cowan, 1988) überein, allerdings wird hier von einem einheitlichen Konzept des Gedächtnisses ausgegangen (Mel-

ton, 1963). In diesem Modell werden das Langzeitgedächtnis und das Kurzzeitgedächtnis nicht mehr als unabhängig voneinander betrachtet. Stattdessen wird der Kurzzeitspeicher lediglich als die Summe der Informationen angesehen, die aus dem Langzeitspeicher aktiviert wurden. Aktiviert bedeutet, dass er in einem bestimmten Maße für die kognitive Verarbeitung vorbereitet oder für den Abruf zugänglich ist. Sobald Aufmerksamkeit auf sie gerichtet ist, werden die Informationen bewusst wahrgenommen. In dieser Konzeptualisierung entfällt die Funktion des Kurzzeitgedächtnisses als Durchgangsstation für Reize aus dem sensorischen Speicher in das Langzeitgedächtnis. Vielmehr werden Reize für maximal 1 Sekunde im sensorischen Speicher gespeichert und dann direkt in das Langzeitgedächtnis übertragen, bevor sie aktiviert und bewusst verarbeitet, d. h. subvokal geprobt werden können. Alle vom Individuum beabsichtigten Aktivierungs- und Transferprozesse zwischen den Gedächtnisspeichern werden, wie in den anderen Modellen, von der zentralen Exekutive koordiniert.

Die zentralen Unterschiede, die sich aus den obigen Annahmen im Vergleich zu den anderen Multistore-Modellen von Atkinson und Shiffrin (1968) und Baddeley und Hitch (1974) ergeben, liegen nicht in der Vorhersage von Effekten, sondern in deren Interpretation. Bekanntlich bleiben Informationen, die gerade aus der Umwelt aufgenommen wurden, kurz in Erinnerung und werden dann schnell wieder vergessen, wenn ihnen keine weitere Aufmerksamkeit zugewiesen wird. In den zuvor diskutierten Modellen würden diese Informationen als Inhalte des sensorischen Registers oder des Arbeitsgedächtnisses angesehen, die z. B. durch die phonologische Schleife aufrechterhalten werden, aber noch nicht ins Langzeitgedächtnis gelangt sind und daher schnell abklingen. Nach Cowan (1997, 1999) hingegen sind diese Informationen in den Langzeitspeicher übergegangen und werden sofort im Kurzzeitgedächtnis aktiviert. Da sie aber so wenig verarbeitet wurden, verschwinden sie ohne weitere Aufmerksamkeit

aus dem Kurzzeitspeicher und können nur schwer reaktiviert werden. Befunde, die auf Einschränkungen des Arbeitsgedächtnisses hindeuten, werden von Cowan in diesem Sinne auch als Hinweis auf Einschränkungen des Aktivierungspotenzials und der Aufmerksamkeitskapazitäten gesehen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass diese Gedächtnismodelle helfen, den Prozess der Auswahl, Organisation und Integration von Informationen in Langzeitgedächtnissysteme leichter zu verstehen. Sie stellen jedoch keine Verbindung zwischen dem Lernprozess und dem didaktischen Design eines Lernmaterials her.

1.4 Warum Lernen nicht ohne Belastung funktioniert

1.4.1 Theorie der kognitiven Belastung (CLT)

Eine der am häufigsten zitierten Theorien zur Erklärung kognitiver Prozesse beim Lernen mit Lehrmaterialien ist die Theorie der kognitiven Belastung, (Cognitive Load Theory, CLT; Sweller, 1988, 2010, 2011, 2019, 2020; Sweller,

Ayres & Kalyuga, 2011; für eine Modellübersicht siehe **Abbildung 1-1**). Diese Rahmentheorie versucht, die Eigenschaften des menschlichen Arbeitsgedächtnisses und die didaktische Gestaltung von multimedialen Lernumgebungen theoretisch zu verbinden (de Jong, 2010); sie basiert auf wichtigen empirischen Erkenntnissen der kognitiven Psychologie.

Definition: Kognitive Belastung

Kognitive Belastung ist die mentale Belastung, die durch das Lernmaterial verursacht wird. Diese Belastung ist in hohem Maße abhängig vom Vorwissen der Lernenden (Ayres, 2018; Feldon, Callan, Juth & Jeong, 2019; Kalyuga & Plass, 2018).

In der Abbildung ist die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses einer lernenden Person größer als die notwendigen kognitiven Ressourcen für eine Aufgabe. Die Person würde also die Aufgabe lösen können. Ist die Arbeitsgedächtniskapazität kleiner als die notwendigen Ressourcen, dann liegt kognitive Überlastung vor. Um zu erklären, wie mentale Beschränkungen beim Lernen

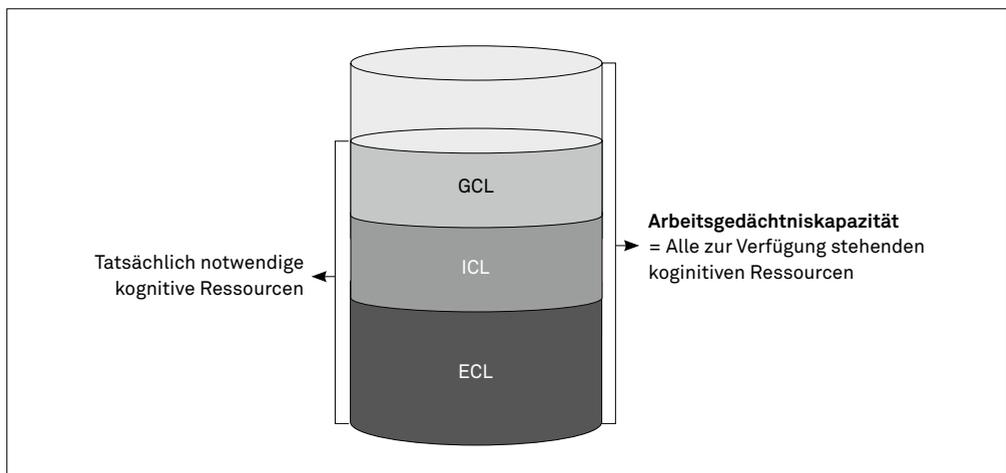


Abbildung 1-1: Grundgedanken der Theorie der kognitiven Belastung (Cognitive Load Theory, CLT; eigene Darstellung); ECL = extraneous cognitive load; ICL: intrinsic cognitive load; GCL: germane cognitive load

überwunden werden können, werden in der Theorie der kognitiven Belastung drei Belastungsfacetten erläutert: die lernrelevante kognitive Belastung (intrinsic cognitive load, ICL), die lernirrelevante kognitive Belastung (extraneous cognitive load, ECL) und lernbezogene kognitive Belastung (germane cognitive load, GCL).

- **Lernrelevante kognitive Belastung (ICL):** Die ICL hängt von der Aufgabenkomplexität des Lernstoffs ab (Sweller & Chandler, 1994). Die Komplexität wird sowohl durch die Interaktivität der Elemente des Lernmaterials als auch durch das domänenspezifische Vorwissen bestimmt, das Lernende in früheren Lernsituationen benötigt haben. Die Interaktivität der Elemente wird auf einem Kontinuum zwischen niedrig und hoch beschrieben (Chen & Kalyuga, 2020). In Anlehnung an Sweller (2010) kann ein Element definiert werden „als alles, was gelernt werden muss oder gelernt wurde, wie z. B. ein Konzept oder ein Verfahren“ (S. 124). Es wird davon ausgegangen, dass eine höhere Anzahl von Elementen, die ein Lernender gleichzeitig verarbeiten muss, einer höheren Interaktivität der Elemente entspricht. So kann beispielsweise das Vokabellernen mit einer niedrigen Elementinteraktivität beschrieben werden, da die Wörter separat gelernt werden können, ohne dass sie miteinander in Beziehung gesetzt werden müssen (Pollock, Chandler & Sweller, 2002). Ein Beispiel für eine Aufgabe mit hoher Elementinteraktivität ist das Erlernen von Algebra. Bei diesen Aufgaben müssen mehrere Elemente gleichzeitig im Arbeitsgedächtnis verarbeitet werden (Sweller, 2010). Wie bereits erwähnt, kann auch das Vorwissen oder die Expertise des Lernenden die lernrelevante kognitive Belastung beeinflussen (Chen & Kalyuga, 2020; Chen, Kalyuga & Sweller, 2017). Lernende mit einer hohen Expertise, die oft als hohes domänenspezifisches Vorwissen beschrieben wird, haben bereits ein Schema gebildet, das ihnen hilft, ein Problem ohne hohe Belastung des Ar-

beitsgedächtnisses zu lösen. Das Verständnis von Beziehungen zwischen Elementen, das beispielsweise zur Lösung einer Algebraaufgabe erforderlich ist, fällt leichter, wenn grundlegende Konzepte und Verfahren bereits gelernt wurden (Sweller, 2011).

- **Lernirrelevante kognitive Belastung (ECL):** Die Belastung des Arbeitsgedächtnisses wird nicht nur durch die Komplexität der Lernaufgabe verursacht, sondern auch durch das Format und die Präsentation des Lernmaterials. Die ECL ist die „Belastung, die durch kognitiv unangemessene Gestaltung und Präsentation von Informationen verursacht wird“ (Antonenko, Paas, Grabner & Van Gog, 2010, S. 426). Dementsprechend kann die ECL durch die Gestaltung des Lernmaterials beeinflusst werden (Leahy & Sweller, 2016). Instruktionsdesigner sollten darauf achten, dass diese Belastung so gering wie möglich gehalten wird, um lernhemmende Effekte zu vermeiden. Wenn die Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses zur Bewältigung von ECL-Prozessen verwendet werden, stehen möglicherweise nicht genügend Ressourcen zur Bewältigung der ICL zur Verfügung, wenn die Kapazität der kognitiven Ressourcen bereits belegt ist (Sweller, 2010). Nach Sweller (2010) sollen die ICL und ECL additiv sein, obwohl diese Annahme in der Forschung auch infrage gestellt wird (Wirzberger, Beege, Schneider, Nebel & Rey, 2016). Demzufolge kann man sagen, dass Lernmaterialien mit einer hohen ICL Lernende überfordern können, wenn zusätzliche Kosten durch die ECL das Arbeitsgedächtnissystem belasten (Paas & Sweller, 2014).
- **Lernbezogene kognitive Belastung (GCL):** Da Lernen mehrere lernbezogene Prozesse umfasst, die ebenfalls kognitive Kapazitäten beanspruchen, wurde von Sweller und Chandler (1994) eine dritte Art der kognitiven Belastung vorgeschlagen: die GCL. Die GCL ist für den Aufbau und die Automatisierung von Schemata erforderlich. Je größer

die lernbezogene kognitive Belastung ist, desto besser ist die Lern- oder Verstehensleistung. So wird versucht, mithilfe von konstruktiven Maßnahmen die GCL zu erhöhen wie auch die ECL so weit wie möglich zu reduzieren.

Auf der Grundlage dieser Annahmen sind die ICL und GCL produktiv (Sweller et al., 2011), da sie für den Lernerfolg wesentlich sind. Im Gegensatz dazu kann die ECL als unproduktiv eingestuft werden, da sie dem Lernen abträglich ist (Seufert, 2018; Sweller et al., 2011). Um den Lernerfolg nicht zu gefährden, sollte die unproduktive Belastung so gering wie möglich gehalten werden. In diesem Fall haben Lernende genügend Kapazitäten, um die produktive kognitive Belastung zu bewältigen und Aktivitäten zu unterstützen. Wenn die ECL-Prozesse zunehmen, nehmen die GCL-Prozesse einschließlich der freien Arbeitsgedächtnisressourcen ab (Kalyuga, 2011). Dadurch könnte das Lernen negativ beeinflusst werden (de Jong, 2010).

Während im traditionellen Rahmen diese drei Arten der kognitiven Belastung (ICL, ECL, GCL) angenommen wurden (Sweller, van Merriënboer & Paas, 1998; Kester, Paas & van Merriënboer, 2010; van Merriënboer & Sweller, 2005), unterstützen neuere Erkenntnisse ein Modell mit nur ICL- und ECL-Prozessen (Jiang & Kalyuga, 2020; Sweller et al., 2019). Kalyuga (2011) argumentiert, dass die GCL nicht als eine separate Facette der kognitiven Belastung betrachtet werden kann. Nach den vorherigen Annahmen sollte während des Lernens die GCL so hoch wie möglich gehalten werden, um mehr Arbeitsgedächtniskapazität zur Bewältigung der durch die ICL verursachten Informationen bereitzustellen (Sweller, 2010; Sweller et al., 1998, 2019). Demnach sind die ICL und GCL eng miteinander verbunden. In Übereinstimmung mit Jiang und Kalyuga (2020) sowie Kalyuga (2011) teilt die GCL denselben theoretischen Hintergrund mit der ICL und kann daher als redundant betrachtet werden. Die lern-

bezogene kognitive Belastung wird also nicht als Belastung angesehen, sondern hat eine Umverteilungsfunktion (Sweller et al., 2019). Wenn Lernende mit einer Lernaufgabe konfrontiert werden, fungiert die GCL als Ressourcenzuteilung von Arbeitsgedächtniskapazitäten, um ein Lernziel zu erreichen (Kalyuga, 2011; Sweller, 2010). In diesem Sinne trägt die GCL zu übergeordneten Lernzielen bei, wie z. B. der Übertragung des erworbenen Wissens auf andere Kontexte (Jiang & Kalyuga, 2020). Wenn jedoch sowohl ICL- als auch ECL-Prozesse mit ausreichender kognitiver Kapazität ausgestattet werden können, kann Lernen stattfinden.

1.4.2 Kritik an der CLT

Obwohl die CLT in der Lernforschung weit verbreitet ist, gibt es auch Kritik an der Verwendung der CLT als Rahmen für die Erklärung kognitiver Prozesse, und zwar aus mehreren Gründen:

- Die Grundannahme unterschiedlicher Gedächtnissysteme und des Arbeitsgedächtnissystems als „Türhüter“ des Langzeitgedächtnisses wird mittlerweile für überholt gehalten (für einen Überblick siehe Baddeley, 2012).
- Die CLT ignoriert viele andere Prozesse, die sich auf das Lernen auswirken, wie emotionale, motivationale, soziale, metakognitive oder selbstregulierende Prozesse.
- Die Unterscheidung zwischen Aufgabenkomplexität und Vorwissen der Lernenden ist zweifelhaft, da beide Konzepte miteinander verwoben sind (Huh, Kim & Jo, 2019).
- Eine der wichtigsten Implikationen der CLT besteht darin, Aufgaben so zu gestalten, dass sie möglichst einfach zu verstehen sind. Studien im Bereich der wünschenswerten Erschwernisse (desirable difficulties; z. B. Bjork & Bjork, 2011) oder des produktiven Scheiterns (productive failure; Kapur, 2008) legen jedoch nahe, dass diese Implikation nicht verallgemeinert werden kann.

- Nach der CLT besteht das Hauptziel eines Lernprozesses darin, Wissen zu akkumulieren und große Wissensnetzwerke aufzubauen. In einer Welt mit endlosen Informationsströmen kann dieses Ziel jedoch nie erreicht werden und ist auch nicht erwünscht, wenn Flexibilität das Hauptziel moderner Gesellschaften ist (Cooper, 1993).
- Die ersten Studien, die die CLT als zuverlässigen Rahmen nachweisen sollten, wurden mit mathematischen Problemen durchgeführt (z.B. Mawer & Sweller, 1982; Sweller, 1983; Sweller & Levine, 1982; Sweller, Mawer & Howe, 1982; Sweller, Mawer & Ward, 1983). Möglicherweise kann diese Theorie nicht auf den Unterricht in Fächern, die nicht mit der Mathematik verbunden sind (z.B. Sprachen, Literatur), übertragen werden.

1.4.3 Gestaltung von Lernmedien auf Grundlage der CLT

Zur Erleichterung und Verbesserung des Lernens wurden zahlreiche Gestaltungsprinzipien entwickelt und in Forschung und Praxis etabliert, um kognitive Überforderung zu vermeiden oder ICL- oder ECL-Prozesse zu reduzieren (Chen & Kalyuga, 2020; de Jong, 2010; Paas & van Merriënboer, 2020).

Vorübungsprinzip. ICL-Prozesse können kaum von einem Designer eines Lernmaterials verändert werden. Mögliche Modifikationen sind die Anpassung des zu lernenden Stoffes oder die Veränderung des domänenspezifischen Fachwissens der Lernenden durch eine Vorübung der lernstoffimmanenten Konzepte (Beckmann, 2010; Sweller, 2020; Sweller et al., 2019). So könnte ein Lernmaterial zur Funktionsweise eines Motors im Auto zuerst erklären, welche Funktionen ein Zylinder oder ein Kolben hat, bevor der Gesamtablauf erklärt wird. So können Lernende bereits aufgebaute Schemata nutzen und damit wird die ICL reduziert. Mayer, Mautone und Prothero (2002) kamen beispielsweise zu dem Schluss, dass die Prob-

lemLösungsfähigkeit der Lernenden in einem simulierten geografischen Online-Spiel verbessert werden kann, wenn sie im Voraus geologische Konzepte und Merkmale kennen.

Segmentierungsprinzip. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, das gesamte Lernmaterial in verschiedene Segmente zu unterteilen. Dieses Segmentierungsprinzip (für einen Überblick siehe Rey et al., 2019) kann angewandt werden durch z.B. Überschriften (z.B. Mautone & Mayer, 2001), grafischen Überblicken (z.B. Wang, Mayer, Zhou & Lin, 2021) oder Blättern auf Unterwebseiten (für einen Überblick siehe Bernard, Baker & Fernandez, 2002).

Prinzipien der räumlichen und zeitlichen Kontiguität. In der Literatur werden mehrere Möglichkeiten zur Reduzierung der ECL beschrieben (de Jong, 2010). Wenn zu viele nicht zielgerichtete Suchprozesse ablaufen, z.B. wenn zusammengehörige Informationen in räumlicher Entfernung voneinander angezeigt werden, nehmen die ECL-Prozesse zu, da die Informationen vor den Schemakonstruktionsprozessen mental zusammengeführt werden müssen (Split-Attention-Effekt; Florax & Ploetzner, 2010). In diesem Fall muss der*die Lernende „ein Element im Gedächtnis behalten, während [er*sie] nach einem anderen Element sucht, um es mit dem ersten in Beziehung zu setzen“ (de Jong, 2010, S. 108). Um diesen lernhemmenden Effekt zu eliminieren, sollten korrespondierende Elemente in räumlicher oder in zeitlicher Nähe platziert werden (Prinzip der räumlichen Kontiguität; für Metaanalysen siehe Ginns, 2006; Schroeder & Cencki, 2018). Das heißt, entweder sollten zusammengehörige und interagierende Texte und Bilder nah beieinander platziert werden oder bei einer zeitlichen Abfolge möglichst zeitlich aufeinanderfolgen, um die Teilung der Aufmerksamkeit zu reduzieren.

Prinzip der ausgearbeiteten Beispiele. ECL-Prozesse können auch dann auftreten, „wenn Schülerinnen und Schüler Probleme lösen müssen, für die sie kein schema-basiertes Wissen haben“ (de Jong, 2010, S. 108), wie z.B.

bei Problemaufgaben in Mathematik. In diesem Sinne ist die ICL bei komplexen Aufgaben tendenziell hoch, und eine nicht optimale Gestaltung des Lernmaterials kann die ECL schnell erhöhen. In diesem Fall kann ein ausgearbeitetes Beispiel, das der Problemlösungsaufgabe vorangestellt wird (d.h. ein bereits ausformuliertes Arbeitsbeispiel), dazu beitragen, die kognitive Belastung zu verringern (Effekt ausgearbeiteten Lösungsbeispiele; z.B. Beege et al., 2021).

Redundanzprinzip. Eine weitere Quelle für ECL-Prozesse ist der Redundanzeffekt, der besagt, dass die gleichzeitige Bereitstellung „identischer Informationen in verschiedenen Multimediaformen“ (Knoop-van Campen, Segers & Verhoeven, 2018, S. 142) dem Lernen schadet. Jedoch scheint dieser Effekt bei Lernenden mit geringem Vorwissen sogar lernförderlich. Eine Studie von Rey und Buchwald (2011) z. B. fand Belege für das Redundanzprinzip. Sie fanden allerdings auch heraus, dass Lernende mit geringem Vorwissen (Novizen) bessere Behaltens- und Transferleistungen erbringen, wenn zu einer Animation ein Text enthalten ist.

Kohärenzprinzip. Beim Kohärenzprinzip wird Material entfernt, das für das Lernziel irrelevant ist und somit direkt zur ECL führt (Halpern et al., 2007). Hintergrundmusik (z.B. Lehmann & Seufert, 2017), unnötige Geräusche, Texte oder Grafiken, selbst wenn sie interessant erscheinen, können zu einer kognitiven Überlastung führen und den Lernenden bei der Verarbeitung des Materials ablenken (Clark & Mayer, 2012). Insbesondere verführerische Details (seductive details), d.h. Informationen, die zwar interessant, aber nicht lernrelevant sind, können das Lernen erschweren (für eine Metaanalyse siehe Sundararajan & Adesope, 2020).

Expertise-Umkehr-Effekt. Fortgeschrittene Lernende haben bereits Schemata zum Fachgebiet aufgebaut, zu dem die Aufgabe gestellt wird (Kalyuga & Renkl, 2010), während Lernende mit wenig Vorwissen keine solchen Schemata vollständig ausgebildet haben. Dieselben Materialien können daher für Anfän-

ger*innen oder für Lernenden mit geringen Fähigkeiten eine hohe Elementinteraktivität aufweisen, für Menschen mit hoher Expertise oder erfahrene Lernende jedoch nur ein einziges Element darstellen (Chen et al., 2017; Sweller et al., 2019). Hierbei handelt es sich um einen Expertise-Umkehr-Effekt: Das Lernmaterialdesign ist weniger effektiv, wenn die Lernenden Expertise in der Domäne erlangt haben (Kalyuga & Renkl, 2010; Sweller, 2011). Das Lernen mit Lernmedien ist also immer abhängig vom Grad des Vorwissens der Lernenden.

1.5 Wie Informationen aus Medien gelernt werden

Um zu verstehen, wie der Lernprozess mit Medien und speziell digitalen Medien abläuft, haben Forschende verschiedene Rahmenmodelle entwickelt, die den Lernprozess anhand von Gedächtnismodellen abstrahieren. Einige dieser Rahmenmodelle sind inzwischen erweitert oder wesentlich verändert worden.

1.5.1 Integrierte Theorie des Text- und Bildverstehens (ITPC)

Schnotz und Bannert (1999, 2003) schlugen die integrierte Theorie des Text- und Bildverstehens (ITPC, siehe **Abb. 1-2**) vor, die den Schwerpunkt stärker auf den Repräsentationalismus-Ansatz der kognitiven Verarbeitung legt. Das Modell besteht aus zwei Arten von Repräsentationspfaden.

- *Text:* Der deskriptive Weg umfasst die Medien wie geschriebenen und gesprochenen Text. Während ein geschriebener Text mit den Augen gelesen wird, wird ein gesprochener Text mit den Ohren gehört. Die Augen repräsentieren in diesem Modell das sensorische Register des visuellen Registers, während die Ohren das auditive Register darstellen. Dieser duale Kodierungsansatz basiert auf Paivios Theorie der Multimodalität (z.B.

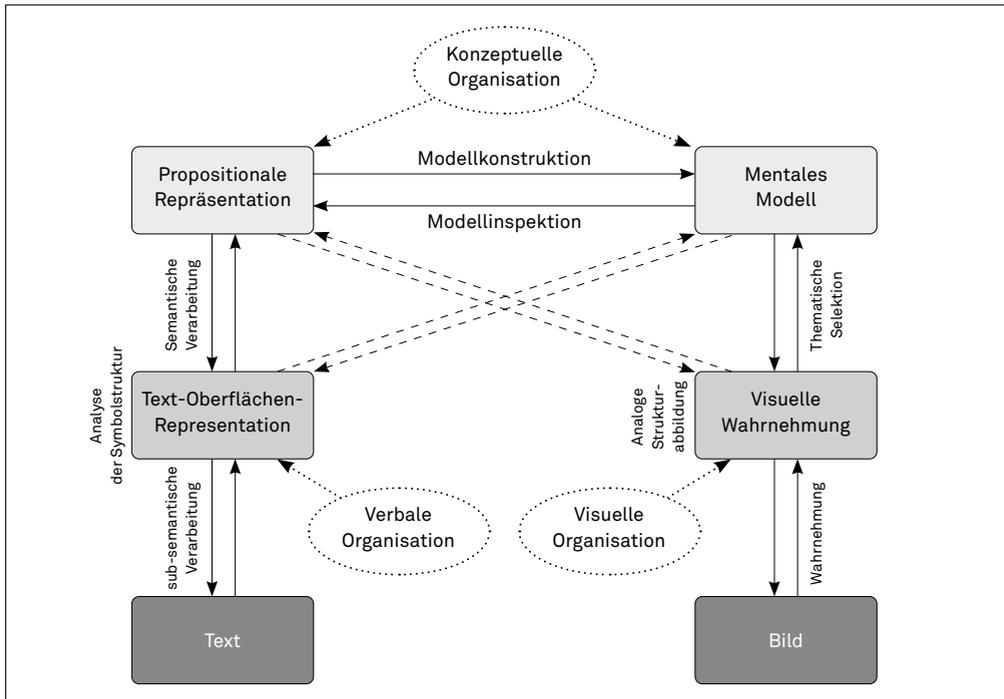


Abbildung 1-2: Informationsverarbeitung nach der integrierten Theorie der Text-Bild-Verarbeitung (ITCP; eigene Darstellung nach Schnotz & Bannert, 2003)

Clark & Paivio, 1991). Nach der Beachtung von Informationen über diese Register wird gesprochener Text über eine phonologische Input-Analyse (für einen Überblick siehe Martin & Saffran, 2002) in phonologische lexikalische Muster transformiert. Im Gegensatz dazu wird geschriebener Text durch eine graphemische Inputanalyse (für einen Überblick siehe Barry, 1994) in graphemische lexikalische Muster oder durch eine Graphem-Phonem-Konversion (Snowling, 1980) in ein phonologisches lexikalisches Muster umgewandelt. Graphemische lexikalische Muster können auch in phonologische Muster umgewandelt werden, wenn Grapheme eng mit phonologischen Mustern verbunden sind. Dieser Prozess wird als visuell-auditive lexikalische Konversion bezeichnet (siehe auch Vogel, 2008). Die Produktion von phonologischen und graphemischen Mustern stellt

eine perzeptuelle Oberflächenstrukturverarbeitung dar, was bedeutet, dass trotz der Oberflächenstruktur keine semantische Bedeutung damit verbunden ist. Sowohl graphemische als auch phonologische lexikalische Muster führen jedoch zu einer präpositionalen Repräsentation von Informationen im Arbeitsgedächtnissystem. Dieser Prozess kann als semantische Tiefenstrukturverarbeitung angesehen werden, d. h., es wird eine Bedeutung assoziiert und es findet ein Verstehen statt.

- **Bild:** Der zweite Informationspfad ist eine abbildende Verarbeitung von Informationen. Hier werden entweder Klangbilder oder visuelle Bilder in einem Lernmaterial präsentiert. Klangbilder (für eine nähere Beschreibung siehe Hartmann & Wittenberg, 1996) gelangen in das auditorische Register und werden über eine akustische nonverba-

le Merkmalsanalyse in Klangmuster umgewandelt. Diese Klangmuster werden strukturiert und in ein mentales Modell umgewandelt, das Wahrnehmungserfahrungen des Klangs enthält. Visuelle Bilder werden über die Augen registriert und über eine akustische nonverbale Merkmalsanalyse in ein visuell-räumliches Muster umgewandelt. Die Wahrnehmungsverarbeitung von Informationen in visuellen Figuren umfasst die Identifizierung und Unterscheidung von grafischen Einheiten sowie die visuelle Organisation dieser Einheiten gemäß den Gestaltesetzen (Wertheimer, 1938; Winn, 1994). Diese Muster durchlaufen auch einen Strukturabbildungsprozess, um in ein mentales Modell des Bildes umgewandelt zu werden. Dieser Prozess ist durch die Verarbeitung sowohl visuell-räumlicher als auch semantischer Beziehungen definiert (Falkenhainer, Forbus & Gentner, 1989/90; Schnotz, 1993). Interessanterweise liegen der Wahrnehmungsverarbeitung von Bildern und wahrnehmbar erreichbaren Informationen dieselben kognitiven Prozesse zugrunde (Kosslyn, 1996; Shepard, 1984), sodass es keine Rolle spielt, ob ein Bild visuell gesehen werden kann oder ein Bild im Lernenden entsteht (für einen Überblick siehe Schnotz & Kulhavy, 1994).

Mentale Modelle werden dann zur Überprüfung durch zusätzlich erstellte propositionale Repräsentationen verwendet, um ein endgültiges mentales Modell des Lernstoffs weiterzuentwickeln (oder zu konstruieren) (Schnotz, 1993; van Dijk & Kintsch, 1983; Weaver, Manes & Fletcher, 1995). Je nach Lernmaterial wird zunächst entweder eine propositionale Repräsentation oder ein mentales Modell erstellt. Lernmaterialien mit Texten beginnen mit einer propositionalen Repräsentation, während visuelle Lernmaterialien wie Lernvideos lediglich mit einem mentalen Modell beginnen. Diese Konstruktionsprozesse beruhen auf einer Interaktion von Bottom-up- und Top-down-Aktivie-

rung kognitiver Schemata, die sowohl eine selektive als auch eine organisierende Funktion haben. Durch beide Prozesse werden aufgabenrelevante Informationen selektiert, die dann in eine kohärente mentale Repräsentation der Textoberflächenstruktur organisiert werden (Schnotz & Kürschner, 2008). Sowohl propositionale Repräsentationen als auch mentale Modelle werden schließlich im Langzeitgedächtnis als lexikalisches, perzeptuelles und konzeptuelles Wissen gespeichert. Am wichtigsten ist, dass es keine Eins-zu-eins-Beziehung gibt zwischen den externen Repräsentationen, die in den Lernmaterialien dargestellt werden, und den Formen der internen Repräsentation, die die Lernenden aufbauen, sodass Lehrkräfte oder Bildungsdesigner*innen nie sicher sein können, welches mentale Modell das Endprodukt des Lernprozesses ist. Insbesondere in Fällen, in denen das Lernmaterial aus mehr als einer Darstellungsform besteht, sind mehrere Wege zur Generierung eines mentalen Modells möglich.

Insgesamt beschreibt das ITPC, wie mentale Modelle eines Lernmaterials konstruiert werden, indem es den Prozess aus der Perspektive betrachtet, wie Repräsentationen aufgebaut werden können.

1.5.2 Kognitive Theorie des multimedialen Lernens (CTML)

Die Kombination von Bildern und Texten als multimediales Setting wird auch in der kognitiven Theorie des multimedialen Lernens beschrieben (Cognitive Theory of Multimedia Learning, CTML; Mayer, 1996, 2014, 2021; Moreno & Mayer, 1999; für eine Modellübersicht siehe **Abbildung 1-3**). Wie bei der Theorie der kognitiven Belastung gibt es mittlerweile zahlreiche Übersichtsartikel zur CTML (z. B. Cavanaugh, Kraiger & Peters, 2021; Greer, Crutchfield & Woods, 2013; Mayer, 1999, 2002, 2003; Mayer & Moreno, 1998, 2002, 2003; Moreno & Mayer, 2000; Muthukumar, 2005; Robinson, 2004; Sorden, 2012). Die CTML weist große

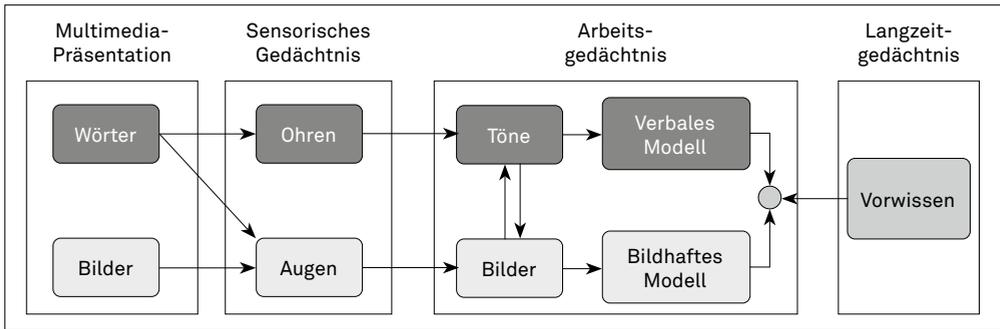


Abbildung 1-3: Informationsverarbeitung nach der kognitiven Theorie des multimedialen Lernens (Cognitive Theory of Multimedia Learning, CTML; eigene Darstellung)

Ähnlichkeiten mit der ITPC von Schnotz (2005) auf, obwohl es aus unterschiedlichen theoretischen Hintergründen stammt.

In der CTML werden drei Gedächtnisspeicher unterschieden, wie sie von Baddeley und Hitch (1974) angenommen wurden: das sensorische Gedächtnis, das Arbeitsgedächtnis und das Langzeitgedächtnis (Mayer & Moreno, 2003). Das Modell wird jedoch um einen externen Informationsspeicher erweitert – die Multimedia-Präsentation. Diese vier Komponenten bilden ein kognitives Verarbeitungsmodell, das zur Beschreibung eines multimedialen Lernprozesses verwendet werden kann. Um erklären zu können, wie diese vier Komponenten miteinander verbunden sind, wurden drei Grundannahmen postuliert.

- **Grundannahme 1:** Informationen werden über zwei verschiedene Kanäle verarbeitet. Ein Kanal steht für visuell/bildlich präsentiertes Informationsmaterial zur Verfügung, der andere für auditives/verbales Material (Robinson, 2004). Mit dieser Trennung der Informationsverarbeitungskanäle stützt sich die CTML direkt auf die duale Kodierungstheorie von Paivio (z.B. Clark & Paivio, 1991; Paivio, 1986) und eine frühere Version von Baddeleys Arbeitsgedächtnismodell (z.B. Baddeley, 1992; Baddeley & Hitch, 1974). In ähnlicher Weise entspricht die von Schnotz (2005) vorgenommene Unterteilung in deskriptive und depiktionale Repräsentationen

in der ITPC in etwa dieser Unterscheidung. Für eine detailliertere Konzeptualisierung der beiden Kanäle wird eine Unterscheidung zwischen dem Präsentationsmodus und der sensorischen Modalität vorgeschlagen (Mayer, 2021). Im Präsentationsmodus wird der Stimulus verbal (z.B. gesprochene Sätze) oder nonverbal (z.B. Bilder, Animationen oder Hintergrundmusik) präsentiert. Diese Konzeptualisierung entspricht im Wesentlichen der Dichotomie von Paivio (1986). Bei der sensorischen Modalität geht es dagegen darum, wie das präsentierte Lernmaterial von Lernenden aufgenommen und im Arbeitsgedächtnis repräsentiert wird. Dies betrifft in erster Linie das visuelle (z.B. für Bilder, Animationen oder gedruckte Wörter) und das auditive System (z.B. für gesprochene Wörter oder Hintergrundmusik). Diese Dichotomie liegt dem Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley (1992) zugrunde. Die Lernenden haben die Möglichkeit, die in einem Kanal erzeugte Repräsentation in den anderen Kanal zu übertragen. So kann eine gesprochene Beschreibung eines Sachverhalts von den Lernenden in ein mentales Bild umgewandelt werden und umgekehrt (Mayer, 2014). Bei der Gestaltung von Lernmaterialien ist es das Ziel, möglichst beide Kanäle während der Informationsverarbeitung zu aktivieren.

- *Grundannahme 2:* In jedem Kanal des Arbeitsgedächtnisses kann nur eine begrenzte Zahl an Informationen verarbeitet werden (Muthukumar, 2005). Diese Aussage ist konsistent mit dem Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley (1992; siehe Kap. 1.3) und der CLT (siehe Kap. 1.4). Im Gegensatz zur CLT macht die CTML keine konkreten Annahmen darüber, wie viele Informationseinheiten gleichzeitig verarbeitet werden können. Nach Miller (1956) wird eine Größenordnung von sieben Einheiten angenommen. Die Allokation, Überwachung, Koordination und Anpassung der begrenzten kognitiven Ressourcen werden in der CTML unter Überwachungsstrategien subsumiert (Mayer, 2003, 2014). Diese Strategien können sehr gut mit Baddeleys (1992) zentraler Exekutive oder mit modernen Intelligenztheorien in Verbindung gebracht werden (z. B. Demetriou & Spanoudis, 2018; Sternberg & Kaufman, 2011). Eine Implikation dieser zweiten Annahme der CTML ist, dass Lernende nicht durch zu viele Informationseinheiten kognitiv überlastet werden dürfen.
- *Grundannahme 3:* Der Mensch verarbeitet Informationen aktiv. Lernende setzen sich aktiv mit dem Lernmaterial auseinander, um eine kohärente mentale Repräsentation ihrer vorhandenen Erfahrungen zu konstruieren (Mayer, 2021). Diese Annahme der aktiven Wissenskonstruktion findet sich auch in der Psychologie bei verschiedenen anderen Forschenden (z. B. Ausubel, 1968; Bruner, 1961; James, 1890/1950; Neisser, 1967; Phye, 1997; Santrock, 2017; Wittrock, 1989, 2010; Woolfolk, 2016). Um zu einem mentalen Modell zu gelangen, bedarf es der Konstruktion verschiedener Strategien. Dazu gehören Verarbeitungs-, Vergleichs-, Generalisierungs-, Aufzählungs- und Klassifikationsstrukturen. Verarbeitungsstrukturen können z. B. Kausalketten mit entsprechenden Erklärungen der einzelnen Ursache-Wirkungs-Elemente sein. Verstehen wird in diesem Zusammenhang als die Konstruktion solcher Wissensstruktu-

ren definiert (Mayer, 2021). Um das Ziel des Verstehens eines Lernstoffs zu erreichen, sind verschiedene kognitive Prozesse notwendig.

Die CTML unterscheidet fünf kognitive Prozesse, die während einer Multimedia-Lernepisode ablaufen:

- *Auswahl von Wörtern:* Lernende richten ihre Aufmerksamkeit auf relevante Wörter im multimedialen Lernmaterial, um eine erste auditive Darstellung im Arbeitsgedächtnis zu erzeugen. Dieser Prozess kann durch die Präsentation sowohl eines gesprochenen als auch eines gedruckten Textes eingeleitet werden (Mayer, 2020), wenn die Lernenden den gedruckten Text in eine auditive Darstellung überführen. Die Konzentration auf bestimmte Teile des Lernstoffs ist auf die eingeschränkte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses zurückzuführen. Die Auswahl ist nicht willkürlich, sondern die Lernenden steuern den Prozess aktiv, um eine kohärente mentale Darstellung des Lernstoffs aufbauen zu können.
- *Auswahl von Bildern:* Relevante Bilder im Lernmaterial werden ausgewählt, um eine visuelle Darstellung im Arbeitsgedächtnis zu erzeugen. Entsprechend der Auswahl von Wörtern erfordert die begrenzte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses diesen Auswahlprozess, um eine kohärente mentale Repräsentation aufzubauen.
- *Organisation von Wörtern:* Ausgewählte Wörter werden miteinander verbunden, um ein kohärentes verbales Modell beispielsweise einer Ursache-Wirkungs-Beziehung im Arbeitsgedächtnis zu bilden (Mayer, 2003). Dieser Prozess, der im Hörkanal stattfindet, unterliegt auch Kapazitätsbeschränkungen des Arbeitsgedächtnisses, sodass einfachere Strukturen als Volltexte (z. B. Wortreihenfolgen oder semantische Bilder) zur Bildung mentaler Modelle verwendet werden.
- *Organisation von Bildern:* Ausgewählte Bilder werden miteinander verknüpft, um ein ko-

härentes Bildmodell zu erzeugen (Mayer & Moreno, 2003). Der im visuellen Kanal ablaufende Prozess unterliegt wiederum den Einschränkungen des Arbeitsgedächtnisses, sodass wiederum einfachere Strukturen als Vollbilder (Symbole oder Eindrücke) zum Aufbau eines mentalen Modells verwendet werden.

- *Integration der verbalen und bildlichen Modelle und des Vorwissens:* Dieser Integrationsprozess (Mayer, 2003) stellt den entscheidenden Schritt beim multimedialen Lernen dar. Es kann sowohl im visuellen als auch im verbalen Arbeitsgedächtnis stattfinden und erfordert eine Koordination zwischen beiden. Um durch diesen äußerst anspruchsvollen Prozess nicht kognitiv überlastet zu werden, können Lernende ihr Vorwissen nutzen, um den Integrationsprozess zwischen den beiden mentalen Modellen zu erleichtern (Mayer, 2020).

Die CTML besagt, dass Multimedia-Nachrichten bei der Verarbeitung drei Speicherformen durchlaufen. Wörter und Bilder gelangen als multimediale Repräsentationen in das sensorische Gedächtnis (Mayer, 2017). Die Informationsaufnahme erfolgt über die Augen und Ohren. Dabei können sowohl geschriebene als auch gesprochene Wörter erfasst werden. Im sensorischen Gedächtnis verweilen Informationen nur kurze Zeit und erfordern eine schnelle Weiterverarbeitung. Andernfalls gehen die Informationen verloren mit der Konsequenz, dass kein Lernen stattfinden kann. Um Reizüberflutung zu vermeiden und die Konzentration zu steuern, werden bestimmte Wörter und Bilder ausgewählt, die dann an das Arbeitsgedächtnis weitergeleitet werden. Wie in der CLT angenommen, findet das Lernen im Arbeitsgedächtnissystem statt. Visuelle Bilder (Imagene) von Abbildungen und Töne von Wörtern werden in ein verbales und ein bildliches Modell organisiert. Abschließend rufen die Lernenden relevante Vorkenntnisse aus dem Langzeitgedächtnis ab. Die Kapazität dieses Speichers ist unbegrenzt und Informationen können über ei-

nen langen Zeitraum gespeichert werden (Mayer, 2014). Zusätzlich werden das verbale und bildliche Modell mit dem Vorwissen (Mayer, 2017) in ein kohärentes mentales Modell integriert und in das Langzeitgedächtnis übertragen – ein Prozess, der Lernen darstellt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die CTML einen empirisch validierten Rahmen zur Erklärung der Verarbeitung multimedialer Reize bereitstellt. Es basiert auf dem SOI-Modell (SOI=Selecting, Organizing, Integrating), nach dem Lernende Informationen auswählen, organisieren und integrieren müssen, um ein kohärentes mentales Modell aufbauen und aufrechterhalten zu können (Mayer, 2021).

1.5.3 Kritik an der CTML

Da die CTML auf wichtigen Annahmen der CLT basiert, wie beispielsweise die Existenz eines Arbeitsgedächtnissystems, gilt ihr die gleiche Kritik (siehe Kap. 1.4.2). Es gibt jedoch noch weitere Punkte, die hervorgehoben werden müssen.

- Die CTML macht keine Aussagen über Einflüsse motivierender (z.B. Lazowski & Hulleman, 2016), emotionaler (z.B. Kim & Pekrun, 2014), sozialer (z.B. Schneider, Beege, Nebel, Schnaubert & Rey, 2021) sowie metakognitiver und selbstregulativer Faktoren (z.B. Winne, 2021) zur Verarbeitung von Informationen.
- Die Gestaltungsempfehlungen der CTML haben sich bisher vor allem für naturwissenschaftliche Materialien und in Situationen mit sehr hoher kognitiver Belastung wie der medizinischen Ausbildung bewährt (z.B. Issa et al., 2011); ob sie sich jedoch auf Lernmaterialien zu sozialwissenschaftlichen Themen übertragen lassen, wird bezweifelt. Experimentelle Befunde deuten darauf hin, dass eine Verallgemeinerung der CTML auf solche Wissensbereiche nicht möglich ist (De Westelinck, Valcke, De Craene & Kirschner, 2005; siehe auch Ginns, 2005).

- Die Übertragung einzelner Empfehlungen der CTML auf Lernumgebungen einschließlich Lernerkontrolle (d.h. ohne Zeitbeschränkungen für die Verarbeitung) verbessert die Lernleistung nicht (Gerjets et al., 2009; siehe auch Rey, 2012).
- Die CTML basiert wie die CLT auf älteren Annahmen und empirischen Erkenntnissen. Neuere Konzepte und Erkenntnisse der Kognitionspsychologie sowie Ansätze aus anderen Disziplinen (z. B. aus der Neurowissenschaft und der Forschung zur künstlichen Intelligenz) bezieht sie nicht ausreichend in die Bildung mentaler Repräsentationen ein (z. B. Spicer & Sanborn, 2019).
- Die CTML vernachlässigt Prozesse im Langzeitgedächtnis aufgrund des Fokus auf das Arbeitsgedächtnis stark (z. B. Klinzing, Niet-hard & Born, 2019).
- Die CTML vereinfacht Prozesse beim Multimedia-Lernen teilweise zu stark und erscheint daher ungenau. Es gibt beispielsweise keine Diskussion darüber, wie genau die Integration zwischen den verbalen und bildlichen Modellen und dem Vorwissen der Lernenden erfolgt (Reed, 2006) und wie dieses neu geschaffene Wissen anschließend in das Langzeitgedächtnis aufgenommen wird.

Insgesamt kann die CTML als Rahmenmodell zur Vereinfachung kognitiver Prozesse beim Multimedia-Lernen betrachtet werden und nicht als Theorie mit falsifizierbaren Hypothesen zu verschiedenen kognitiven Prozessen.

1.5.4 Gestaltung von Lernmedien auf Grundlage der CTML

Basierend auf den Grundannahmen und der Definition des Lernens der CTML wurden unterschiedliche Designempfehlungen abgeleitet. Diese Prinzipien überschneiden sich teilweise mit den aus der CLT abgeleiteten Prinzipien, einige von ihnen werden jedoch häufiger im Zu-

sammenhang mit der CTML erläutert (vgl. Mayer & Moreno, 2010).

Multimedia-Prinzip. Wenn in multimediale Lernmaterialien mehr als ein Medium präsentiert wird, kommt es tendenziell zu einer Überlastung der Lernenden (Paas, Tuovinen, Tabbers & van Gerven 2003). Darüber hinaus können die Anforderungen an das Arbeitsgedächtnis die Kapazität übersteigen, wenn auditive Eingaben vorliegen, die nicht mit geschriebenem Text übereinstimmen oder wenn zusätzlich visuelle Animationen vorhanden sind (Halpern, Graesser & Hakel, 2007). Nach Clark und Mayer (2012) können Lernende vom Lernen mit Text und Bildern statt nur mit Text profitieren, da Lernende mit geringen Vorkenntnissen nicht in der Lage sind, ein kohärentes mentales Modell zu konstruieren (Multimedia-Prinzip; für einen metaanalytischen Überblick siehe Hu, Chen, Li & Huang, 2021). In diesem Fall sollten bei der Vermittlung von Fakten, Konzepten, Prozessen, Verfahren oder Prinzipien insbesondere interpretative, transformative oder organisatorische Grafiken verwendet werden (Clark & Mayer, 2012); damit werden vorgefertigte Modelle bereitgestellt, die von den Lernenden übernommen werden können. Die Verwendung geeigneter Grafiken ist eine Möglichkeit, die kognitiven Kosten einer Überlastung der Lernenden durch die Auswahl lernrelevanter Informationen zu reduzieren (Moreno, 2007).

Das Kontiguitätsprinzip. Das Kontiguitätsprinzip bezieht sich auf Situationen, in denen gedruckte Wörter (d.h. die räumliche Ausrichtung) oder Erzählungen (d.h. die zeitliche Ausrichtung) zusammen mit Grafiken wie Bildern oder Animationen präsentiert werden. Es wird davon ausgegangen, dass sowohl eine synchrone Darstellung (Prinzip der zeitlichen Kontiguität; für einen metaanalytischen Überblick siehe Ginns, 2006) als auch eine räumlich nahe Darstellung (Prinzip der räumlichen Kontiguität; für einen metaanalytischen Überblick siehe Ginns, 2006; Schroeder & Cenkci, 2018) dazu beitragen kann, die Informationsverarbeitung für die Lernenden zu verbessern (Clark & May-

er, 2012). Für den räumlichen Kontiguitätseffekt werden Text und Bilder physisch nahe beieinander platziert, um den Lerntransfer zu verbessern (Moreno & Mayer, 1999). Der zeitliche Kontiguitätseffekt verbessert das Lernen, indem Bildmaterial und Erzählung synchronisiert werden (Moreno & Mayer, 1999).

Modalitätsprinzip. Bei der Verwendung von Multimedia wird eine mit Grafiken präsentierte Erzählung vom Lernenden besser verstanden als visuell präsentierter Text zur Beschreibung von Grafiken (Modalitätsprinzip; Clark & Mayer, 2012; Mayer & Moreno, 2003; für einen metaanalytischen Überblick siehe Ginns, 2005). Nach der Theorie der dualen Kodierung (Paivio, 1975) wird die Verarbeitungskapazität verringert, wenn Material in nur einer Form der Kodalität präsentiert wird anstatt in beiden Formen, die normalerweise zur Bewertung von Informationen verwendet werden, nämlich den auditiven und den visuellen Kanal des Informationseinkommens (Moreno & Mayer, 1999). Da Lernende möglicherweise Informationen aus Text oder Grafiken übersehen oder die Bedeutung beider Arten der visuellen Präsentation falsch interpretieren (z.B. Bildüberlegenheitseffekt; z.B. Hockley, 2008; Whitehouse, Maybery & Durkin, 2006), sollten sie bei der Selektion von Informationen sowie Überführung dieser in das Arbeitsgedächtnis sowohl visuelle als auch auditive Kanäle nutzen (Moreno & Mayer, 2007).

Signalisierungsprinzip. Insbesondere Lernende mit geringem Vorwissen haben große Schwierigkeiten, relevante von irrelevanten Informationen zu unterscheiden, da sie nicht bereits ein mentales Modell aufgebaut haben, das ihnen hilft, Lernaktivitäten anzupassen. Deshalb werden Techniken zur Hervorhebung lernzielrelevanter Informationen eingesetzt. Dieses Prinzip wird als Signalprinzip bezeichnet (für metaanalytische Übersichten siehe Alpizar, Adesope & Wong, 2020; Richter, Scheiter & Eitel, 2016; Schneider, Beege, Nebel & Rey, 2018). Für die Hervorhebung lernzielrelevanter Informationen werden z. B. folgende Elemente

verwendet: grafische Überblicke (advanced organizers, z. B. De Jong & Van der Hulst, 2002), Scheinwerfer (z. B. Doolittle & Altstaedter, 2009), Referenzfarben (z. B. Ferrara & Butcher, 2011), Text-Bild-Referenzierungen (Seufert & Brünken, 2006) oder Pfeile, die auf wichtige Teile des Bildes zeigen (z. B. Huk, Steinke & Floto, 2003). Diese können zur Verbesserung des Lernens beitragen, indem sie die Aufmerksamkeit der Lernenden auf relevante Informationen im Lernmaterial lenken oder die Organisation hervorheben.

Imaginationsprinzip. Lernende, die aufgefordert werden, sich Objekte, Strukturen, Personen und Prozesse wie Bewegungen, räumliche Anordnungen, Konfigurationen, Motive und Beziehungen vorzustellen, die in einem Text oder in einer auditiven Erklärung beschrieben werden, zeigen bessere Lernleistungen als Lernende, die nicht aufgefordert werden, sich etwas vorzustellen (Leopold & Mayer, 2015). Diesen Effekt nennt man Imaginationseffekt. Die theoretische Begründung des Imaginationseffekts beruht auf der generativen Kraft der kognitiven Verarbeitung (Fiorella & Mayer, 2015). Mentale Vorstellungskraft wird als Strategie der aktiven Bedeutungskonstruktion verstanden, weil Lernende mentale Bilder erzeugen. Daher sollten Lernmedien so gestaltet sein, dass mentale Prozesse angeregt werden (Imaginationsprinzip). Dieser generative Prozess ist beispielhaft für den Aufbau kohärenter mentaler Repräsentationen, die den Kern von Verständnisprozessen (generative processing in der CTML) bilden.

Prinzip des dynamischen Zeichnens. Der Lernerfolg wird erhöht, wenn ein Instruktor Grafiken zeichnet, z. B. auf einer digitalen Leinwand, anstatt bereits gezeichnete Grafiken während einer Präsentation vorzulegen (Fiorella & Mayer, 2016). Dieses Prinzip des dynamischen Zeichnens hängt jedoch davon ab, ob eine Hand beim Zeichnen gezeigt wird oder nicht. So konnte gezeigt werden, dass ein Video mit dynamischem Zeichnen, bei dem die Hand nicht zu sehen ist, zu schlechteren Lernleistungen

gen führte als ein Video mit einer Hand – jedoch immer noch besser als ein Voice-over zu denselben bereits gezeichneten Grafiken (Fiorella, Stull, Kuhlmann & Mayer, 2019).

Selbsterklärungsprinzip. Chi, Bassok, Lewis, Reimann und Glaser (1989) untersuchten das Lernen mit Beispielaufgaben. Diese bestehen aus einer Problemstellung und einer Lösung und dienen den Lernenden als Musterlösung dafür, wie allgemeine Prinzipien auf einen konkreten Fall angewendet werden. Lernende, die während des Lernens das Material mit ihrem Vorwissen in Verbindung brachten, in diesem Fall mehr Selbsterklärungen abgaben, schnitten in einem späteren Test besser ab als Lernende, die das Material meist umformulierten und insgesamt weniger Selbsterklärungen abgaben (Chi, Bassok, Lewis, Reimann & Glaser, 1989). Dies wird Selbsterklärungseffekt genannt. Der Einsatz von Beispielen ist also effektiver, wenn die Lernenden sich etwas selbst gut erklären, als wenn sie keine oder qualitativ schlechte Selbsterklärungen abgeben (Renkl, 1997). Selbsterklärungen beziehen die Lernenden aktiv in das Lernmaterial ein (Chi, 2021), und im Idealfall ziehen die Lernenden Schlüsse, die über das hinausgehen, was in den Unterrichtsmaterialien vermittelt wird (Chi, 2021; Rittle-Johnson, Loehr & Durkin, 2017), und unterstützen die Lernenden dabei, ihr Verständnis zu vertiefen (Chi & Wylie, 2014). Somit fördert die Selbsterklärung Wissen, das weniger an spezifische Problemmerkmale gebunden ist und somit Lernenden hilft, Probleme in neuen Kontexten zu lösen (Adams et al., 2014; Renkl, 2014; van Gog & Rummel, 2010).

Literatur

- Adams, D.M., McLaren, B.M., Durkin, K., Mayer, R.E., Rittle-Johnson, B., Isotani, S. et al. (2014). Using erroneous examples to improve mathematics learning with a web-based tutoring system. *Computers in Human Behavior*, 36, 401–411. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.03.053>
- 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. <https://doi.org/10.1007/s11423-020-09748-7>
- Anderson, J.R. (2005). *Cognitive psychology and its implications*. Duffield: Macmillan.
- Anderson, L. & Krathwohl, D. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. Boston: Addison Wesley Longman.
- Anderson, R.C. & Pearson, P.D. (1988). A schema-theoretic view of basic processes in reading comprehension. In P.L. Carrell, J. Devine & D.E. Eskey (Eds.), *Interactive approaches to second language reading* (pp. 37–55). Cambridge: Cambridge University Press.
- Antonenko, P., Paas, F., Grabner, R. & Van Gog, T. (2010). Using electroencephalography to measure cognitive load. *Educational Psychology Review*, 22, 425–438. <https://doi.org/10.1007/s10648-010-9130-y>
- Atkinson, R.C. & Shiffrin, R.M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In K.W. Spence (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory* (pp. 89–195). New York: Academic Press.
- Ausubel, D.P. (1968). *Educational psychology: A cognitive view*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Ayres, P. (2018). Subjective measures of cognitive load: What can they reliability measure? In R.Z. Zheng (Ed.), *Cognitive load measurement and application: A theoretical framework for meaningful research and practice* (pp. 9–28). New York: Routledge.
- Baddeley, A. (1992). Working memory. *Science*, 255, 556–559. <https://doi.org/10.1126/science.1736359>
- Baddeley, A.D. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 417–423. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01538-2](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01538-2)
- Baddeley, A.D. (2001). Is working memory still working? *American Psychologist*, 56, 851–864. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.56.11.851>
- Baddeley, A.D. (2012). Working memory: Theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology*, 63, 1–29. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-120710-100422>
- Baddeley, A.D. & Hitch, G.J. (1974). Working memory. In G. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (pp. 47–90). New York: Academic Press.

- Baddeley, A. D., Thomson, N. & Buchanan, M. (1975). Word length and the structure of short-term memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 14, 575–589. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(75\)80045-4](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(75)80045-4)
- Baddeley, A. D., Vallar, G. & Wilson, B. A. (1987). Sentence comprehension and phonological memory: Some neuropsychological evidence. In M. Coltheart (Ed.), *Attention and performance XII: The psychology of reading* (pp. 509–529). London: Erlbaum.
- Barry, A. M. S. (1994). Perceptual aesthetics and visual language. In D. M. Moore & R. M. Dwyer (Eds.), *Visual literacy: A spectrum of visual learning* (pp. 113–132). Englewood Cliffs, NJ: Educational Technology Publishing.
- Bauer, P. J. & Larkina, M. (2016). Predicting remembering and forgetting of autobiographical memories in children and adults: A 4-year prospective study. *Memory*, 24, 1345–1368. <https://doi.org/10.1080/09658211.2015.1110595>
- Beckmann, J. F. (2010). Taming a beast of burden – On some issues with the conceptualisation and operationalisation of cognitive load. *Learning and Instruction*, 20, 250–264. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2009.02.024>
- Beege, M., Schneider, S., Nebel, S., Zimm, J., Windisch, S. & Rey, G. D. (2021). Learning programming from erroneous worked-examples. Which type of error is beneficial for learning? *Learning and Instruction*, 75, 101497. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2021.101497>
- Bernard, M., Baker, R. & Fernandez, M. (2002). Paging vs. scrolling: Looking for the best way to present search results. *Usability News*, 4, 1296–1299. <https://doi.org/10.1177/154193120204601412>
- 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 (Eds.), *Psychology and the real world: Essays illustrating fundamental contributions to society* (pp. 56–64). New York: Worth Publishers.
- Bloom, B. S., Englehart, M. D., Furst, E. J., Hill, W. H. & Krathwohl, D. R. (1956). *The taxonomy of educational objectives, Handbook I: The Cognitive domain*. New York: David McKay Co., Inc.
- Bransford, J. D., Brown, A. L. & Cocking, R. R. (2000). *How people learn* (Vol. 11). New York: National Academy Press.
- Bransford, J. D. & Johnson, M. K. (1972). Contextual prerequisites for understanding: Some investigations of comprehension and recall. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 11 (6), 717–726. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(72\)80006-9](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(72)80006-9)
- Bruner, J. S. (1961). The act of discovery. *Harvard Educational Review*, 31, 21–32.
- Casey, A., Goodyear, V. A. & Armour, K. M. (Eds.). (2016). *Digital technologies and learning in physical education: Pedagogical cases*. London: Taylor & Francis. <https://doi.org/10.4324/9781315670164>
- Cavanagh, T., Kraiger, K. & Peters, J. M. (2021). Creating effective online modules using the cognitive theory of multimedia learning. In S. Taneja (Ed.), *Academy of Management Proceedings* (p. 12198). Academy of Management. <https://doi.org/10.5465/AMBPP.2021.12198abstract>
- Chabris, C. F. & Simons, D. J. (2010). *The invisible gorilla: And other ways our intuitions deceive us*. Illinois: Harmony.
- Chen, O. & Kalyuga, S. (2020). Cognitive load theory, spacing effect, and working memory resources depletion: Implications for instructional design. In S. Hai-Jew (Ed.), *form, function, and style in instructional design: Emerging research and opportunities* (pp. 1–26). Hershey, PA: IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-9833-6>
- Chen, O., Kalyuga, S. & Sweller, J. (2017). The expertise reversal effect is a variant of the more general element interactivity effect. *Educational Psychology Review*, 29, 393–405. <https://doi.org/10.1007/10648-016-9359-1>
- Chi, M. T. (2021). The self-explanation principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 339–350). Cambridge: Cambridge University Press.
- Chi, M. T., Bassok, M., Lewis, M. W., Reimann, P. & Glaser, R. (1989). Self-explanations: How students study and use examples in learning to solve problems. *Cognitive Science*, 13, 145–182. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1302_1
- Chi, M. T. & Wylie, R. (2014). The ICAP framework: Linking cognitive engagement to active learning outcomes. *Educational Psychologist*, 49, 219–243. <https://doi.org/10.1080/00461520.2014.965823>
- Clark, J. M. & Paivio, A. (1991). Dual coding theory and education. *Educational Psychology Review*, 3, 149–210. <https://doi.org/10.1007/BF01320076>
- Clark, R. C. & Mayer, R. E. (2012). *Scenario-based e-learning: Evidence-based guidelines for online workforce learning*. San Francisco: John Wiley & Sons.
- Clarkson, P., Bishop, A. & Seah, W. T. (2010). Mathematics education and student values: The cultiva-

- tion of mathematical wellbeing. In T. Lovat, R. Toomey & N. Clement (Eds.), *International research handbook on values education and student wellbeing* (pp. 111–135). The Netherlands: Springer.
- Conrad, R. (1964). Acoustic confusions in immediate memory. *British Journal of Psychology*, 55, 75–84. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1964.tb00899.x>
- Cooper, P.A. (1993). Paradigm shifts in designed instruction: From behaviorism to cognitivism to constructivism. *Educational Technology*, 33, 12–19. Retrieved from <https://www.jstor.org/stable/44428049>
- Cowan, N. (1988). Evolving conceptions of memory storage, selective attention, and their mutual constraints within the human information-processing system. *Psychological Bulletin*, 104, 163–191. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.104.2.163>
- Cowan, N. (1997). The development of working memory. In N. Cowan (Ed.), *The development of memory in childhood* (pp. 163–199). New York: Psychology Press..
- Cowan, N. (1999). An Embedded-Processes Model of working memory. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 62–101). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139174909.006>
- Craik, F.I.M. & Lockhart, R.S. (1972). Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 11, 671–684. [https://doi.org/10.1016/S0022-5371\(72\)80001-X](https://doi.org/10.1016/S0022-5371(72)80001-X)
- Craik, F.I.M. & Tulving, E. (1975). Depth of processing and the retention of words in episodic memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 104, 268–294. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.104.3.268>
- De Jong, T. (2010). Cognitive load theory, educational research, and instructional design: Some food for thought. *Instructional Science*, 38, 105–134. <https://doi.org/10.1007/s11251-009-9110-0>
- De Jong, T. & Ferguson-Hessler, M.G. (1996). Types and qualities of knowledge. *Educational Psychologist*, 31, 105–113. https://doi.org/10.1207/s15326985ep3102_2
- De Jong, T. & Van Der Hulst, A. (2002). The effects of graphical overviews on knowledge acquisition in hypertext. *Journal of Computer Assisted Learning*, 18, 219–231. <https://doi.org/10.1046/j.0266-4909.2002.00229.x>
- De Westelinck, K., Valcke, M., De Craene, B. & Kirchner, P. (2005). Multimedia learning in social sciences: Limitations of external graphical representations. *Computers in Human Behavior*, 21, 555–573. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2004.10.030>
- Demetriou, A. & Spanoudis, G. (2018). *Growing minds: A developmental theory of intelligence, brain, and education*. London: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315537375>
- Dombrowski, E., Rotenberg, L., Bick, M. (2013). *Theory of knowledge*. Oxford: Oxford University Press.
- Doolittle, P.E. & Altstaedter, L.L. (2009). The effect of working memory capacity on multimedia learning: Does attentional control result in improved performance? *Journal of Research in Innovative Teaching*, 2, 7–25. https://assets.nyu.edu/assets/resources/pageResources/7638_JournalofResearch09.pdf#page=12
- Falkenhainer, B., Forbus, K.D. & Gentner, D. (1989/90). The structure mapping engine: Algorithm and examples. *Artificial Intelligence*, 41, 1–63. [https://doi.org/10.1016/0004-3702\(89\)90077-5](https://doi.org/10.1016/0004-3702(89)90077-5)
- Feldon, D.F., Callan, G., Juth, S. & Jeong, S. (2019). Cognitive load as motivational cost. *Educational Psychology Review*, 31, 319–337. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09464-6>
- Ferrara, L. & Butcher, K.R. (2011). Visualizing feedback: Using graphical cues to promote self-regulated learning. In L. Carlson, C. Hoelscher & T.F. Shipley (Eds.), *Proceedings of the thirty-third annual conference of the cognitive science society*. (pp. 1880–1885). Cognitive Science Society.
- Fiorella, L. & Mayer, R.E. (2015). *Learning as a generative activity*. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107707085>
- Fiorella, L. & Mayer, R.E. (2016). Effects of observing the instructor draw diagrams on learning from multimedia messages. *Journal of Educational Psychology*, 108 (4), 528–546. <https://doi.org/10.1037/edu0000065>
- Fiorella, L., Stull, A.T., Kuhlmann, S. & Mayer, R.E. (2019). Instructor presence in video lectures: The role of dynamic drawings, eye contact, and instructor visibility. *Journal of Educational Psychology*, 111, 1162–1171. <https://doi.org/10.1037/edu0000325>
- Florax, M. & Ploetzner, R. (2010). What contributes to the split-attention effect? The role of text segmentation, picture labelling, and spatial proximity. *Learning and Instruction*, 20, 216–224. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2009.02.021>
- Geary, D.C. (2008). An evolutionarily informed education science. *Educational Psychologist*, 43, 179–195. <https://doi.org/10.1080/00461520802392133>
- Gerjets, P., Scheiter, K., Opfermann, M., Hesse, F.W. & Eysink, T.H. (2009). Learning with hyperme-