



– Kurzbeitrag –

Biologie lernen durch Concept Mapping: Bedeutung eines Lernstrategietrainings für kognitive Belastung, kognitive Prozesse und Lernleistung – Kurzdarstellung des DFG-Projekts¹

Learning biology through concept mapping: Relevance of a training for cognitive load, cognitive processes, and learning outcome – outline of the DFG project

Jörg Großschedl^{2,4} und Steffen Tröbst^{3,4}

² Universität zu Köln, Institut für Biologiedidaktik

³ Leibniz Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik (IPN) und Institut für Pädagogik an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

ZUSAMMENFASSUNG

Die Beschäftigung mit Biologie erfordert ein Denken in Zusammenhängen. Concept Maps veranschaulichen Zusammenhänge durch Begriffe, die durch beschriftete Pfeile semantisch sinnvoll verbunden sind. Traditionell wird davon ausgegangen, dass die Anfertigung von Concept Maps (sog. Concept Mapping) deshalb lernwirksam ist, weil mit ihr anspruchsvolle kognitive Prozesse der Organisation und Elaboration einhergehen. In jüngster Zeit wurde diese etablierte Vorstellung erschüttert, indem vor allem der Abruf von Informationen aus dem Langzeitgedächtnis für die Lernwirksamkeit des Concept Mapping verantwortlich gemacht wurde. Moniert werden kann, dass in den zugrundeliegenden Studien ausschließlich Lernmaterialien geringen Umfangs verwendet und Concept Mapping nicht trainiert wurde. Das geplante Projekt zielt darauf ab, die berichteten Befunde vor dem Hintergrund dieser beiden Monita kritisch zu prüfen. Aus einer biologiedidaktischen Perspektive dient es der evidenzbasierten Entwicklung eines wirksamen Concept Mapping-Trainings. Aus Perspektive der psychologischen Grundlagenforschung gewährt es Einblick in die kognitiven Prozesse, die die Lernwirksamkeit des Concept Mapping bedingen.

Schlüsselwörter: Concept Mapping, kognitive Prozesse, Lernstrategietraining

ABSTRACT

Learning biology is characterized by thinking about interrelationships. Concept maps represent interrelationships through concepts connected to each other with labelled arrows. Traditionally, researchers assume that the construction of concept maps (so-called concept mapping) fosters learning by initiating organization and elaboration as complex cognitive processes. Recently, the cognitive basis of the learning efficacy of concept mapping has been questioned as some researchers reasoned that retrieval of information from long-term memory underlies the efficacy of concept mapping. We criticize that the texts to be learned in these studies were comparatively short. Moreover, participants had not been specifically trained in using concept mapping. Our project aims at examining the robustness of the findings reported above. With regard to biology education, we will devise an effective and evidence-based training in concept mapping. From a psychological perspective, the findings will give insight into the cognitive processes that underlie the efficacy of concept mapping as a learning strategy.

Key words: Concept mapping, cognitive processes, learning strategy training

¹ Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) – GR 4763/2-1

⁴ Die Autoren haben zu gleichen Teilen zum Manuskript beigetragen.

1 Einleitung

Die Biologie widmet sich dem Studium der Lebewesen mit naturwissenschaftlichen Methoden (Purves, Sadava & Markl, 2011). Dabei untersucht sie die Lebewesen als solche, erforscht die Subsysteme, aus denen diese aufgebaut sind, und versucht aufzuklären, wie Abermillionen individueller Lebewesen in Supersystemen miteinander und mit ihrer Umwelt interagieren (Kyrieleis, n.d.). Auf allen Systemebenen beschäftigt sich die Biologie mit der Struktur und Funktion von Systemen, ihrer ontogenetischen und phylogenetischen Entwicklung sowie den Wechselwirkungen dieser Systeme mit ihrer Umwelt. Die Beschäftigung mit Biologie ist demnach stark dadurch gekennzeichnet, dass Zusammenhängen innerhalb einer Systemebene sowie zwischen Systemebenen besondere Aufmerksamkeit zuteil kommt (Campbell, Heinisch & Paululat, 2016; Purves et al., 2011).

Empirische Studien zeigen, dass das Denken in Zusammenhängen (s. a. systemisches Denken), Lernende vor besondere Herausforderungen stellt (z. B. Tripto, Assaraf, Snapir & Amit, 2017), da es u. a. anspruchsvolle kognitive Prozesse der Elaboration und Organisation voraussetzt (Brandstädter, Harms & Großschedl, 2012). Um Lernende dabei zu unterstützen, empfiehlt die fachdidaktische Literatur u. a. die Lernmethode des Concept Mapping (Großschedl & Harms, 2014). In einem von der DFG geförderten Projekt wird untersucht, ob die erfolgreiche Nutzung dieser Lernmethode längerfristige Trainingsmaßnahmen voraussetzt. Die Beantwortung dieser Frage ist für die Interpretation von Befunden vorliegender Studien als auch für den effektiven Einsatz des Concept Mapping in der Praxis bedeutsam. Zudem wird untersucht, ob Prozesse der Elaboration und Organisation beim Concept Mapping gefördert werden oder, wie es andere Studien nahelegen (z. B. Karpicke & Blunt, 2011), der Abruf von Informationen aus dem Langzeitgedächtnis (sogenannte Abrufprozesse) lernwirksam ist. Die zu erwartenden Ergebnisse bergen Implikationen für Modellannahmen bezüglich der relativen Lernwirksamkeit verschiedener kognitiver Prozesse. Nach einer theoretischen Verortung des Projekts werden die Forschungsfragen und Hypothesen vorgestellt sowie die geplante methodische Umsetzung skizziert.

1.2 Concept Mapping als Lernmethoden

Concept Maps sind Diagramme, in denen biologische Sachverhalte durch vernetzte Begriffe veranschaulicht werden können. Die Vernetzung erfolgt über beschriftete Pfeile, wobei die Pfeilbeschriftung die semantische Beziehung eines Begriffspaars kennzeichnet, während die Pfeilrichtung die Leserichtung anzeigt. Die kleinste semantische Einheit einer Concept Map (sogenannte Proposition) besteht aus zwei Begriffen, die durch einen beschrifteten Pfeil verbunden werden (Heinze-Fry & Novak, 1990; Novak, 1990; Novak & Cañas, 2008). Abbildung 1 zeigt eine Concept Map über eine Concept Map. Zahlreiche Untersuchungen belegen, dass die Konstruktion von Concept Maps bedeutungsvolles Lernen unterstützt (z. B. Heinze-Fry & Novak, 1990). Bedeutungsvolles Lernen ist dadurch gekennzeichnet, dass Zusammenhänge zwischen verschiedenen Konzepten (Abrams, Kothe & Juli, 2006) erfasst werden und neue Wissensbausteine in die kognitive Struktur integriert werden (Großschedl, 2010; Novak & Cañas, 2008). Starke Evidenz für die Lernwirksamkeit des Concept Mapping liefert die Metaanalyse von Hattie (2009), in der die aggregierten Daten aus sechs Metaanalysen berücksichtigt wurden.

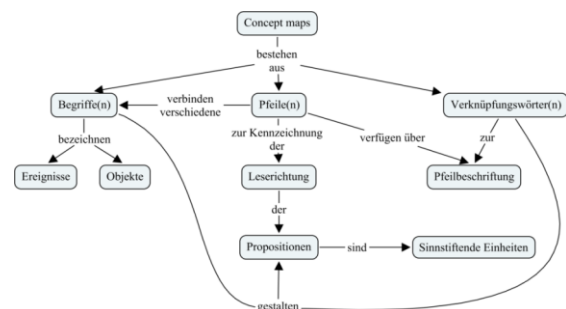


Abbildung 1. Eine Concept Map über Concept Maps (entnommen aus Großschedl, 2010)

Üblicherweise werden mindestens zwei Argumente aufgeführt, die die Unterstützung bedeutungsvollen Lernens beim Concept Mapping erklären (z. B. Großschedl & Harms, 2013; Sumfleth, Neuroth & Leutner, 2010): Das erste Argument bezieht sich auf die Anregung des metakognitiven bzw. kognitiven Lernstrategiegebrauchs. Auf der kognitiven Ebene wird erwartet, dass die Verknüpfung von Begriffen durch beschriftete Pfeile die Integration neuer

Informationen in das Vorwissen unterstützt (Elaboration) und neue Informationen so aufbereitet werden, dass sie auf das Wesentliche reduziert und in einer Weise dargestellt werden, die besonders verarbeitungsfreundlich ist (Organisation; z. B. Hilbert, Nückles & Matzel, 2008; Nesbit & Adesope, 2006; Weinstein & Mayer, 1986). Auf der metakognitiven Ebene wird erwartet, dass Concept Mapping mit der Sequenzierung von Arbeitsabläufen (Novak & Cañas, 2008) und der Identifikation von Verständnisschwierigkeiten und Wissenslücken einhergeht (Hilbert & Renkl, 2008; Nesbit & Adesope, 2006; Novak, 1990; Roth & Roychoudhury, 1993). Das zweite Argument bezieht sich auf die Verarbeitung neuer Informationen im Gedächtnis. In enger Anlehnung an Paivios Doppelkodierungstheorie (vgl. Paivio, 1986) wird erwartet, dass die Informationsverarbeitung beim Lernen verbessert wird, wenn Informationen zugleich in verbalen (z. B. Wörter) und piktorialen Symbolsystemen (z. B. Abbildungen) kodiert werden (z. B. Nesbit & Adesope, 2006). Für beide Symbolsysteme postuliert Paivio (1986) separate Gedächtnissysteme, ein verbales und ein nonverbales. Beide greifen auf unterschiedliche Ressourcen des kognitiven Apparats zurück und können bei gleichzeitiger Bereitstellung verbaler und piktorialer Symbolsysteme simultan genutzt werden, ohne die Kapazitäten des jeweils anderen Gedächtnissystems einzuschränken. Für das Lernen aus Concept Maps wird nun beansprucht, dass beide Gedächtnissysteme in die Informationsverarbeitung einbezogen werden, weil Concept Maps sowohl verbale (z. B. Begriffe, Relationen) als auch piktoriale Symbolsysteme bereitstellen (z. B. Distanzen zwischen Begriffen, die semantische Verwandtschaften anzeigen). In Analogie zu semantischen Gedächtnismodellen stellen Concept Maps strukturierte Darstellungen von Zusammenhängen dar (Jüngst, 1995), in denen die Netzknoten über beschriftete Relationen in Beziehung gesetzt werden (Jüngst & Strittmatter, 1995; Novak & Cañas, 2008; Stracke, 2004). Die Externalisierung kognitiver Repräsentationen in Form einer Concept Map wird mit dem Aufbau kohärenter Wissensstrukturen (Hilbert et al., 2008) und der Entlastung des Arbeitsgedächtnisses in Verbindung gebracht. Letzteres bildet in Mehrspeichermodellen die kritische Passage vom

Kurz- ins Langzeitgedächtnis (Novak & Cañas, 2008).

1.2 Notwendigkeit von Trainingsmaßnahmen

Weitgehend ungeklärt ist bis jetzt, unter welchen Bedingungen metakognitive bzw. kognitive Lernstrategien beim Concept Mapping angeregt werden und ob infolgedessen bedeutungsvolles Lernen unterstützt wird. Ruiz-Primo und Shavelson (1996) identifizierten diese Frage bereits vor zwei Jahrzehnten als Forschungsdesiderat. Eine Studie von Hilbert und Renkl (2008) deutet darauf hin, dass die Vertrautheit der Lernenden mit dem Concept Mapping eine wichtige Rolle spielen könnte; zumindest hatten hier Lernende, die mit dem Concept Mapping wenig vertraut waren, Probleme bei der Kontrolle ihres Mapping-Prozesses. Metakognitive Prompts erwiesen sich entsprechend als wirksame Maßnahme zur Unterstützung bedeutungsvollen Lernens (Großschedl & Harms, 2013). Eine Studie von Nückles, Hübner, Dümer und Renkl (2010) nahm sich am Beispiel des Lernprotokoll-Schreibens – einer wie das Concept Mapping produktorientierten Lernmethode – der Frage an, inwieweit die Vertrautheit mit einer Lernmethode den Gebrauch metakognitiver bzw. kognitiver Lernstrategien beeinflusst. Die Befunde zeigen, dass kognitive Lernstrategien vermehrt genutzt wurden, wenn die Lernenden mit der neuen Lernmethode gut vertraut waren (Bedingung ohne zusätzliche instruktionale Unterstützung durch Prompts). Wird eine neue Lernmethode angewendet, scheint es den Lernenden also häufig nicht zu gelingen, ihren kognitiven Lernstrategiegebrauch auf diese Lernmethode abzustimmen (sogenanntes Produktionsdefizit; z. B. Bannert, 2003). Dies macht sich insbesondere in den Lernerfolgsmaßen leistungsstarker Probanden nachteilig bemerkbar. Diese verfügen bereits über, wenn auch in vielen Fällen nicht optimale, aber dennoch funktionierende Lernmethoden, an deren routinierter Nutzung sie durch die neue Lernmethode gehindert werden (Friedrich, 1992; Kalyuga, 2007; Kalyuga, Ayres, Chandler & Sweller, 2003). Zur Erklärung des Leistungseinbruchs dieser Probanden wird häufig Swellers kognitive Belastungstheorie (*cognitive load theory*) herangezogen (Sweller, 2005; Sweller, van Merriënboer & Paas, 1998). Diese stellt die besondere Bedeutung des Arbeitsgedächtnisses beim Lernen heraus und richtet ihren Fokus auf die

Nutzung seiner eng begrenzten Kapazität während des Lernprozesses. Für den Leistungseinbruch bei leistungsstarken Probanden spielen v. a. zwei Fragen eine Rolle: (1) Inwieweit gelingt es den Probanden, die eng begrenzten Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses der Ausübung lernförderlicher metakognitiver bzw. kognitiver Lernstrategien zu widmen (sogenannte lernbezogene kognitive Belastung)? (2) Inwieweit werden Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses für die Nutzung der neuen Lernmethode aufgewendet (sogenannte extrinsische kognitive Belastung) und können daher nicht in die lernbezogene kognitive Belastung umgewidmet werden. Sind die Probanden noch nicht hinreichend mit der neuen Lernmethode vertraut, kann von einer Verringerung der lernbezogenen und einer Erhöhung der extrinsischen kognitiven Belastung ausgegangen werden (Nückles et al., 2010). Clark (1990) bezeichnet dieses Phänomen in seinem Artikel mit dem aussagekräftigen Titel „*When teaching kills learning...*“ als mathemathantischen Effekt, der zum Ausdruck bringt, dass ein lernhemmender Effekt auftritt, weil Lernende versuchen, eine nicht optimale, aber dennoch funktionierende Strategie durch eine neue, aber nicht hinreichend vertraute Strategie zu ersetzen (s. a. Friedrich & Mandl, 1992). Experten auf dem Gebiet der Forschung zum Concept Mapping (Miller, Cañas & Novak, 2008; Mintzes et al., 2011) liefern allerdings ein widersprüchliches Bild über die Bedeutung der Vertrautheit mit dem Concept Mapping und damit über die Notwendigkeit von Trainingsmaßnahmen. Einerseits ziehen sie – kongruent mit obigen Befunden – den Schluss, dass selbst leistungsstarke Personen die Konstruktion von Concept Maps intensiv üben müssen, bevor sie das Concept Mapping so beherrschen, dass es sich für sie auszahlt (dies setzt u. a. voraus, dass Lernende in der Lage sind wichtige Begriffe zu identifizieren, hierarchische Beziehungen zwischen Begriffen zu bestimmen und sinnvolle Propositionen zu bilden). An mehreren Stellen in der Literatur gehen diese Experten daher von der Notwendigkeit eines mehrwöchigen Trainings mit wiederholten Interventions- und Feedbackmaßnahmen aus (Mintzes et al., 2011). Gestützt werden kann diese These durch ein weiteres Experiment von Nückles et al. (2010), das zeigt, dass kognitive Lernstrategien bei der Lernmethode des Lernprotokoll-Schreibens vermehrt genutzt werden,

wenn Lernhilfen (Prompts) als mögliche Elemente eines Trainings bereitgestellt und mit zunehmender Vertrautheit mit dem Lernprotokoll-Schreiben ausgeblendet werden (*fading*). Eine Studie, in der die Vertrautheit mit dem Concept Mapping experimentell variiert wurde, zeigt weiterhin, dass sich vorausgegangene Übungsgelegenheiten im Concept Mapping positiv auf Qualitätsmerkmale (Struktur und Inhalt) von Concept Maps auswirken (Sumfleth et al., 2010). Andererseits betonen Experten – darunter auch die oben genannten –, dass Concept Mapping nach kürzester Zeit beherrschbar ist (Andrews, Tressler & Mintzes, 2008; Hay, Kinchin & Lygo-Baker, 2008; Martin, Mintzes & Clavijo, 2000; Mintzes, Wandersee & Novak, 2001; Pearsall, Skipper & Mintzes, 1997; Quinn, Mintzes & Laws, 2003). Beispielsweise erachten Quinn et al. (2003, S. 302) eine 10- bis 20-minütige Einführungsphase ins Concept Mapping als ausreichend.

Trotz vielfältiger Empfehlungen zur Vermittlung des Concept Mapping existieren zum gegenwärtigen Zeitpunkt keine belastbaren Studien, die belegen können, ob ausgedehnte Trainingsmaßnahmen oder intensive Übungsgelegenheiten im Concept Mapping tatsächlich notwendig sind, um von seiner Anwendung zu profitieren. Diesbezügliche Schlussfolgerungen beruhen vielmehr auf Studien, die weder Trainingseffekte untersuchen noch kontrollierte Experimente darstellen, sondern lediglich zeigen, dass sich die Qualität von Concept Maps im Verlauf eines Kurses oder eines Semesters verbessert (Martin et al., 2000; Quinn et al., 2003). Andere Studien, wie die Studie von Sumfleth et al. (2010) betrachten nicht den Lernerfolg, sondern Qualitätsmerkmale von Concept Maps als abhängige Variable. Daraus ergibt sich allerdings keine hinreichende empirische Evidenz dafür, dass Lernende im Concept Mapping trainiert werden müssen, um von seiner Anwendung zu profitieren. Ein Ziel unseres Forschungsprojektes ist es daher zu klären, ob Studierende, die ein Training zum Concept Mapping erhalten, beim Concept Mapping erfolgreicher lernen als Studierende, die nicht an einem solchen Training teilnehmen.

1.3 Lernwirksamkeit Abruf- und Elaborationsstützender Bedingungen beim Concept Mapping

In der Tradition der Kognitionspsychologie und in Übereinstimmung mit Mayer's (2002) SOI-Modell

(*selecting-organizing-integrating theory of active learning*) wird häufig davon ausgegangen, dass kognitive Lernstrategien das Herzstück bedeutungsvollen Lernens darstellen (Nückles et al., 2010). Kognitive Lernstrategien sind für die Ausbildung kohärenter Wissensstrukturen verantwortlich, in denen Zusammenhänge zwischen neuen (Organisation) sowie neuen und bekannten Wissenselementen hergestellt werden (Elaboration; Anderson, 1983; Weinstein & Mayer, 1986). Dagegen wurde dem Abruf von Informationen aus dem Langzeitgedächtnis, wie er z. B. in Prüfungssituationen erfolgt, in der kognitionspsychologischen Literatur lange Zeit keine Bedeutung für den Lernprozess beigemessen (Carpenter & Pashler, 2007; Karpicke & Roediger, 2008; Pashler, Rohrer, Cepeda & Carpenter, 2007; Pyc & Rawson, 2009; Roediger & Karpicke, 2006). Erkenntnisse aus der aktuellen Lernforschung zeigen jedoch, dass auch Abrufprozessen eine wichtige Rolle im Lernprozess zukommt und das, obwohl diese erst nach der Aufnahme von Informationen ins Langzeitgedächtnis, der eigentlichen Enkodierung, stattfinden (Karpicke & Smith, 2012). Experimente zur Aufklärung des Mechanismus von Abrufprozessen deuten darauf hin, dass bei der Suche nach Gedächtnisinhalten nicht elaborative Prozesse in Folge einer Aktivierung semantisch verwandter Begriffe (sog. *Elaborative retrieval hypothesis*) für die Lernwirksamkeit von Abrufprozessen verantwortlich sind, sondern die Erweiterung des episodischen Kontextes, der als Hinweisreiz (*Cue*) für den Abruf ebendieser Gedächtnisinhalte dient (sog. *Episodic context account hypothesis*; Karpicke & Smith, 2012; Lehman, Smith & Karpicke, 2014; Lohnas & Kahana, 2014). Die Operationalisierung von Elaborations- oder Abrufprozessen wird üblicherweise durch die Verfügbarkeit des Lernmaterials (verfügbar vs. nicht verfügbar) bzw. die Wahl des Zeitpunkts im Lerngeschehen (Enkodierung abgeschlossen vs. nicht abgeschlossen) festgelegt. Dabei wird angenommen, dass bis zum Zeitpunkt der abgeschlossenen Enkodierung bei der Auseinandersetzung mit verfügbarem Lernmaterial Elaborationsprozesse stattfinden (im Folgenden als *elaborative-studying* bezeichnet), während nach erfolgter Enkodierung und unter Nicht-Verfügbarkeit des Lernmaterials Abrufprozesse erfolgen (im Folgenden als *retrieval-*

practice bezeichnet; Blunt & Karpicke, 2014; Karpicke & Blunt, 2011; Karpicke & Smith, 2012; Wetzels, Kester, van Merriënboer & Broers, 2011). Gemäß verbreiteten theoretischen Vorstellungen wird die Lernmethode des Concept Mapping vor allem deshalb als lernwirksam erachtet, weil sie im Zuge der Verarbeitung des Lernmaterials anspruchsvolle kognitive Prozesse der Organisation und Elaboration auslösen sollte (Mayer, 2002; Nückles et al., 2010). Da Elaboration per definitionem stattfindet, wenn Zusammenhänge zwischen neuen und bekannten Wissenselementen enkodiert werden (Anderson, 1983; Weinstein & Mayer, 1986), steht den Lernenden beim Concept Mapping i. d. R. das Lernmaterial zur Verfügung (z. B. Karpicke & Blunt, 2011; Sumfleth et al., 2010). Folglich stellt Concept Mapping mit vorhandenem Lernmaterial im Vergleich zu Concept Mapping ohne Lernmaterial die ökologisch validere Variante dar. Karpicke und Blunt (2011) stellen diese etablierte Sichtweise in einer in der Fachzeitschrift *Science* publizierten und kontrovers diskutierten Studie in Frage. In einem experimentellen Design verglichen sie die Lernwirksamkeit des Concept Mapping unter *elaborative-studying*-Bedingungen, mit der Lernwirksamkeit des Notizen-Erstellens unter *retrieval-practice*-Bedingungen (Blunt & Karpicke, 2014; Karpicke & Blunt, 2011). Als Lernmaterial wurden den Studienteilnehmern/innen naturwissenschaftliche Texte vorgelegt. Der Lernerfolg der Studienteilnehmer/innen wurde eine Woche nach der Lernphase erfasst. Dabei zeigte sich, dass die Bedingung des Notizen Erstellens unter *retrieval-practice*-Bedingungen die Bedingung des Concept Mapping unter *elaborative-studying*-Bedingungen sowohl in einem Kurzantworttest als auch in einem Test zur Erfassung bedeutungsvollen Lernens übertraf. So schlussfolgerten Karpicke und Blunt (2011), dass Abrufprozesse lernwirksamer seien als Elaborationsprozesse.

In einer Folgestudie führten Blunt und Karpicke (2014) zwei weitere Experimente durch: Das erste Experiment zeigte, dass unter *retrieval-practice*-Bedingungen keine Unterschiede in der Lernwirksamkeit des Concept Mapping und Notizen Erstellens bestanden und schlossen daraus, dass Concept Mapping eine effektive *retrieval-practice*-Methode darstellt. Das zweite Experiment zeigte

allgemein, dass beide Lernmethoden (Concept Mapping und Notizen-Erstellen) unter der Bedingung, dass sie als *retrieval-practices* genutzt worden sind, bessere Lernleistungen nach sich zogen als unter der Bedingung, dass das Lernmaterial während der Anfertigung von Concept Maps oder Notizen verfügbar war. Innerhalb der Bedingungen ohne verfügbares Lernmaterial (*retrieval-practice*) zeigte sich praktisch kein Unterschied zwischen Concept Mapping und Notizen-Erstellen. Innerhalb der Bedingungen, in denen das Lernmaterial verfügbar war, ergab sich ein Lernvorteil zugunsten des Concept Mapping bezüglich eines Kurzantworttests (Faktenwissen) nicht jedoch bezüglich eines Inferenzentests. Blunt und Karpicke (2014; Karpicke & Blunt, 2011) leiteten aus diesen Befunden den Schluss ab, dass vor allem Abrufprozesse ursächlich für die Lernwirksamkeit der Lernmethode des Concept Mapping seien. Prozesse der Organisation und Elaboration besäßen demgegenüber eine viel geringere Relevanz.

Das hier vorgestellte Forschungsprojekt zielt darauf ab, die Schlussfolgerungen von Karpicke und Blunt (2011) und Blunt und Karpicke (2014) über die Lernwirksamkeit des Concept Mapping und die für seine Lernwirksamkeit angenommenen kognitiven Prozesse kritisch zu prüfen. Insbesondere die folgenden vier Überlegungen legen die Durchführung weiterer Untersuchungen nahe: Karpicke und Blunt (2011) nehmen durch die simultane Variation der Lernmethode (Concept Mapping vs. Notizen-Erstellen) und der Verfügbarkeit des Lernmaterials (verfügbar vs. nicht verfügbar) eine Konfundierung ihrer Studie in Kauf, die Rückschlüsse über die Wirksamkeit der Lernmethoden einschränkt. Diese Konfundierung wurde zwar in einer Folgestudie aufgelöst (Blunt & Karpicke, 2014), jedoch bestehen weitere Bedenken hinsichtlich der Validität und Robustheit der berichteten Befunde: Karpicke und Blunt (2011) und Blunt und Karpicke (2014) ziehen weitreichende Schlussfolgerungen bezüglich der relativen Lernwirksamkeit verschiedener kognitiver Prozesse. Die zugrundeliegenden Studien erfassten jedoch vorrangig Endprodukte von Lernprozessen in Form von Tests. Der Einbezug stärker prozessorientierter Maße in zukünftige Untersuchungen, welche das tatsächliche Auftreten bestimmter kognitiver Prozesse in den Blick nehmen, könnte daher die

Gültigkeit der gezogenen Schlussfolgerungen erhöhen. Darüber hinaus waren die von Karpicke und Blunt (2011) und Blunt und Karpicke (2014) eingesetzten Lerntexte relativ kurz (ca. 300 Wörter). So erscheint es denkbar, dass die Kürze des Lernmaterials den Einsatz von Organisations- oder Elaborationsprozessen beim Lernen gewissermaßen unnötig machte. Schließlich erhielten die Teilnehmenden der Studien von Karpicke und Blunt (2011) und Blunt und Karpicke (2014) nur eine kurze Einführung in die Methode des Concept Mapping. Es ist jedoch möglich, dass ein umfangreiches Training erforderlich ist, um die Methode des Concept Mapping unter Nutzung von Organisations- oder Elaborationsprozessen erfolgreich einsetzen zu können (Mintzes et al., 2011).

2. Ziele

Wir widmen uns Forschungsdesiderata der anwendungsorientierten Biologiedidaktik und der grundlagenorientierten Psychologie zur Lernwirksamkeit des Concept Mapping. In Hinblick auf die anwendungsorientierte Biologiedidaktik wollen wir einerseits klären, ob ein Training im Concept Mapping anschließend zu bedeutungsvollerem und erfolgreicherem Lernen mithilfe der Lernmethode des Concept Mapping führt (Teilstudie 1 und 2). Die Aufklärung der Relevanz von Trainingsmaßnahmen für die produktive Nutzung der Lernmethode des Concept Mapping ist sowohl für die Interpretation von Befunden vorliegender Studien als auch für den effektiven Einsatz des Concept Mapping in der Praxis bedeutsam. Andererseits wollen wir klären, inwiefern die Verfügbarkeit des Lernmaterials beim Concept Mapping die Wirksamkeit dieser Lernmethode beeinflusst (Teilstudie 2 und 3). Auch die Beantwortung dieser Frage ist offensichtlich relevant für den effektiven Einsatz des Concept Mapping in der Praxis.

In Hinblick auf die grundlagenorientierte Psychologie wollen wir die in vorigen Studien in den unabhängigen Variablen vorgenommenen Gleichsetzungen von Lernmethode bzw. Verfügbarkeit des Lernmaterials und zugrundeliegenden kognitiven Prozessen auflösen. Karpicke und Blunt (2011) setzten Concept Mapping mit Elaboration gleich, wohingegen Blunt und Karpicke (2014) verfügbares Lernmaterial mit

Elaboration gleichsetzen. Wir werden kognitive Prozesse, u. a. operationalisiert über die Messung von Lesezeiten, konsequent als abhängige Variablen betrachten. In diesem Zusammenhang wollen wir die Robustheit einer zentralen Schlussfolgerung von Blunt und Karpicke (2014) – die Lernwirksamkeit von Concept Mapping beruht auf der Auslösung von Abruf und nicht auf Elaboration – gegenüber zwei potenziell relevanten Faktoren prüfen: der Vertrautheit mit der Lernmethode des Concept Mapping (Teilstudie 2) und dem Umfang des Lernmaterials (Teilstudie 3). Wir wollen den Einfluss der beiden vorgenannten Faktoren auf das Ausmaß von Elaboration im Rahmen von Concept Mapping und die finale Lernleistung erfassen. Die zu erwartenden Ergebnisse haben Implikationen für Modellannahmen bezüglich der relativen Lernwirksamkeit verschiedener kognitiver Prozesse.

3. Hypothesen, Forschungsdesign und vorgesehene Untersuchungsmethoden

Wir planen die Durchführung von drei experimentellen Teilstudien, die im Folgenden kurz skizziert werden.

3.1 Teilstudie 1

Für Teilstudie 1 formulieren wir drei zentrale Hypothesen: Größere Vertrautheit mit der Lernmethode des Concept Mapping (1) begünstigt das Auftreten von Organisation und Elaboration beim Concept Mapping, (2) geht mit geringer empfundener kognitiver Belastung⁵ beim Concept Mapping einher und (3) vergrößert die Lernleistungen beim Concept Mapping.

Entsprechend unseren Hypothesen werden wir die Vertrautheit der Lernenden mit der Lernmethode des Concept Mapping durch unterschiedliche Trainingsmaßnahmen systematisch variieren. Dadurch wollen wir prüfen, ob die durch ein vorgeschaltetes Training im Concept Mapping erzeugte Vertrautheit der Lernenden mit dem Concept Mapping das Auftreten von Elaboration sowie infolgedessen die Lernleistung beim Concept Mapping in einer nachfolgenden kritischen Lernphase fördert. Hierzu werden wir im Verlauf der Lernphase die kognitive Belastung erfassen und im

Anschluss an die Lernphase neben der klassischen Erfassung von Endprodukten von Lernprozessen in Form von Tests auch Lesezeitenerfassungen vornehmen, um den beim Concept Mapping ablaufenden kognitiven Prozessen (Abruf, Organisation und Elaboration) näher zu kommen. Der Lesezeitenerfassung liegt die allgemeine Annahme zugrunde, dass neue bzw. in der Vergangenheit wenig verarbeitete Information beim Lesen mehr kognitiven Aufwand erfordert als die Verarbeitung bekannter bzw. in der Vergangenheit häufig verarbeiteter Information. Sollte die Vertrautheit im Concept Mapping Einfluss haben auf die während der kritischen Lernphase ablaufenden kognitiven Prozesse, dann müssten trainierte Personen z. B. Targets zur Elaboration (hier: Sätze, die auf Relationen zwischen Begriffen des relevanten Vorwissens und Begriffen des in der Lernphase eingesetzten Lernmaterials eingehen) schneller erfassen als untrainierte.

3.2 Teilstudie 2

In Anlehnung an Blunt und Karpicke (2014) gehen wir davon aus, dass die Verfügbarkeit des Lernmaterials die kognitiven Prozesse beeinflusst, welche bei der Nutzung der Lernmethode des Concept Mapping ablaufen. Bei nicht-verfügbarem Lernmaterial sollte Concept Mapping notwendigerweise (auch) Abruf auslösen; bei verfügbarem Lernmaterial sollten mehr kognitive Ressourcen für Elaboration zur Verfügung stehen. Zusätzlich vermuten wir, dass Vertrautheit mit der Lernmethode des Concept Mapping notwendig (oder zumindest sehr hilfreich) ist, um diese Methode erfolgreich als Strategie zur Elaboration einzusetzen. Im Gegensatz zu den Schlussfolgerungen von Blunt und Karpicke (2014) und im Einklang mit traditionellen lernpsychologischen Theorien nehmen wir ferner an, dass Elaboration lernwirksamer ist als Abruf. Wir erwarten daher eine Interaktion der Faktoren Trainingsinhalt und Verfügbarkeit des Lernmaterials: Besonders wenn durch ein vorhergehendes Training eine ausreichende Vertrautheit mit der Lernmethode des Concept Mapping hergestellt worden ist, werden bei verfügbarem Lernmaterial Elaboration und

⁵ Auf eine differenzierte Erfassung der lernbezogenen und extrinsischen kognitiven Belastung wird verzichtet, da bisher noch keine Instrumente verfügbar sind, die eine zeitökonomische Erfassung erlauben und kritisch valid wurden. Erste Ansätze solcher Instrumente finden sich bei DeLeeuw und Mayer (2008), Young et al. (2017) und Klepsch, Schmitz und Seufert (2017).

infolgedessen erhöhter Lernerfolg auftreten. Wir formulieren drei konkrete Erwartungen für Teilstudie 2: Nach einem vorhergehenden Training im Concept Mapping und bei verfügbarem Lernmaterial während der Lernphase (1) treten beim Concept Mapping vermehrt Organisation und Elaboration auf, (2) vermindert sich die empfundene kognitive Belastung und (3) zeigt sich eine erhöhte Lernleistung.

In einem 2-x-2-Experiment werden wir die Faktoren Training (Training im Concept Mapping vs. unspezifisches Kontrolltraining) und Verfügbarkeit des Lernmaterials (verfügbar vs. nicht-verfügbar) variieren. Es werden dieselben Instrumente wie in Teilstudie 1 verwendet. Auch die zeitliche Platzierung der Befragungen und Tests ist identisch.

3.3 Teilstudie 3

In Teilstudie 3 nehmen wir wie in Teilstudie 2 an, dass bei nicht-verfügbarem Lernmaterial die Anwendung von Concept Mapping vermehrt Abruf induziert, während bei verfügbarem Lernmaterial mehr Ressourcen für Elaboration aufgewendet werden können. Darüber hinaus vermuten wir, dass der Umfang des zu bearbeitenden Lernmaterials die Notwendigkeit und Möglichkeit zur Elaboration beim Concept Mapping beschränkt. Bei kurzer Textlänge des Lernmaterials (mit eher wenigen enthaltenen Konzepten und Fakten), bestehen eher wenige Möglichkeiten zur Elaboration. Bei langer Textlänge des Lernmaterials (mit eher vielen enthaltenen Konzepten und Fakten), bestehenden notwendigerweise vermehrt Möglichkeiten zur Elaboration. Wie zuvor gehen wir weiterhin davon aus, dass Elaboration lernwirksamer als Abruf ist. Wir erwarten eine Interaktion der Faktoren Textlänge des Lernmaterials und Verfügbarkeit des Lernmaterials: Besonders wenn umfangreiches Lernmaterial zahlreiche Möglichkeiten zur Elaboration eröffnet, wird bei verfügbarem Lernmaterial die Nutzung von Concept Mapping Elaboration, und infolgedessen erhöhten Lernerfolg, bewirken. Wir formulieren die folgenden drei Erwartungen für die Teilstudie 3: Bei umfangreichem und verfügbarem Lernmaterial (1) treten beim Concept Mapping vermehrt Organisation und Elaboration auf, (2) vermindert sich die empfundene kognitive Belastung und (3) zeigt sich eine erhöhte Lernleistung.

Bei der Teilstudie 3 wird es sich ebenfalls um ein 2-x-2-Experiment handeln. Vor der kritischen Lernphase erhalten die Lernenden ein Kurztraining im Concept Mapping. In der Lernphase wollen wir die Faktoren Umfang des Lernmaterials (Kurztext vs. Langtext) und Verfügbarkeit des Lernmaterials (verfügbar vs. nicht-verfügbar) variieren. Die kognitive Belastung der Lernenden wird analog zu den vorhergehenden Teilstudien während der Lernphase erfasst. Die Instrumente der Testphase zur Erfassung des Lernerfolgs und der kognitiven Prozesse werden jedoch an den verringerten inhaltlichen Umfang des Kurztextes angepasst werden, um einen fairen Vergleich zwischen den Gruppen zu gewährleisten.

Literatur

- Abrams, R., Kothe, D. & Iuli, R. (2006). Meaningful learning: A collaborative literature review of concept mapping. Zugriff am 29.04.2018 unter <http://www2.ucsc.edu/mlrg/clr-conceptmapping.html>
- Anderson, J. R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Andrews, K. E., Tressler, K. D. & Mintzes, J. J. (2008). Assessing environmental understanding: An application of the concept mapping strategy. *Environmental Education Research*, 14, 519-536.
- Bannert, M. (2003). Effekte metakognitiver Lernhilfen auf den Wissenserwerb in vernetzten Lernumgebungen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 17, 13-25.
- Blunt, J. R. & Karpicke, J. D. (2014). Learning with retrieval-based concept mapping. *Journal of Educational Psychology*, 106, 849-858.
- Brandstädter, K., Harms, U. & Großschedl, J. (2012). Assessing system thinking through different concept-mapping practices. *International Journal of Science Education*, 34, 2147-2170.
- Campbell, N. A., Heinisch, J. J. & Paululat, A. (2016). *Biologie*. 10., aktualisierte Auflage. Hallbergmoos: Pearson.
- Carpenter, S. K. & Pashler, H. (2007). Testing beyond words: Using tests to enhance visuospatial map learning. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14, 474-478.
- Clark, R. E. (1990). When teaching kills learning: Studies of mathematics. In H. Mandl, E. D. Corte, N. S. Bennet & H. F. Friedrich (Eds.), *Learning and instruction: European research in an international context* (pp. 1-22). Oxford, UK: Pergamon Press.
- DeLeeuw, K. E. & Mayer, R. E. (2008). A comparison of three measures of cognitive load: Evidence for separable measures of intrinsic, extraneous, and germane load. *Journal of Educational Psychology*, 100(1), 223-234.
- Friedrich, H. F. (1992). Vermittlung von reduktiven Textverarbeitungsstrategien durch Selbstinstruktion. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Lern- und Denkstrategien: Analyse und Intervention* (S. 193-212). Göttingen: Hogrefe.
- Friedrich, H. F. & Mandl, H. (1992). Lern- und Denkstrategien – ein Problemaufriß. In H. Mandl & H. F. Friedrich (Hrsg.), *Lern- und Denkstrategien: Analyse und Intervention* (S. 3-54). Göttingen: Hogrefe.
- Großschedl, J. (2010). *Einfluss ausgewählter instruktionaler Maßnahmen auf Struktur und Niveau zellbiologischen Wissens* [Dissertation]. Berlin: Logos Verlag.
- Großschedl, J. & Harms, U. (2013). Effekte metakognitiver Prompts auf den Wissenserwerb beim Concept Mapping und Notizen Erstellen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 375-395.
- Großschedl, J. & Harms, U. (2014). Metakognition - Dirigentin des Gedankenkonzerts. In U. Spörhase & W. Ruppert (Hrsg.), *Biologie-Methodik - Handbuch für die Sek. I und II* (S. 48-52). Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Hattie, J. (2009). *Visible learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. London, UK: Routledge.
- Hay, D., Kinchin, I. & Lygo-Baker, S. (2008). Making learning visible: The role of concept mapping in higher education. *Studies in Higher Education*, 33, 295-311.
- Heinze-Fry, J. A. & Novak, J. D. (1990). Concept mapping brings long-term movement toward meaningful learning. *Science Education*, 74, 461-472.
- Hilbert, T. S., Nückles, M. & Matzel, S. (2008). Concept mapping for learning from text: Evidence for a worked-out-map-effect. In P. A. Kirschner, F. J. Prins, V. Jonker & G. Kanselaar (Eds.), *International perspectives in the learning sciences: Creating a learning world. Proceedings of the Eighth International Conference for the Learning Sciences – ICLS 2008* (Vol. 1, pp. 358-365). Utrecht, The Netherlands: International Society of the Learning Sciences.
- Hilbert, T. S. & Renkl, A. (2008). Concept mapping as a follow-up strategy to learning from texts: What characterizes good and poor mappers? *Instructional Science*, 36, 53-73.
- Jüngst, K. L. (1995). Studien zur didaktischen Nutzung von Concept Maps. *Unterrichtswissenschaft*, 23, 229-250.
- Jüngst, K. L. & Strittmatter, P. (1995). Wissensstrukturdarstellungen: Theoretische Ansätze und praktische Relevanz. *Unterrichtswissenschaft*, 23, 194-207.
- Kalyuga, S. (2007). Expertise reversal effect and its implications for learner-tailored instruction. *Educational Psychology Review*, 19, 509-539.

- Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P. & Sweller, J. (2003). The expertise reversal effect. *Educational Psychologist*, 38, 23-31.
- Karpicke, J. D. & Blunt, J. R. (2011). Retrieval practice produces more learning than *elaborative studying* with concept mapping. *Science*, 331, 772-775.
- Karpicke, J. D. & Roediger, H. L. (2008). The critical importance of retrieval for learning. *Science*, 319, 966-968.
- Karpicke, J. D. & Smith, M. A. (2012). Separate mnemonic effects of retrieval practice and elaborative encoding. *Journal of Memory and Language*, 67, 17-29.
- Klepsch, M., Schmitz, F. & Seufert, T. (2017). Development and validation of two instruments measuring intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Frontiers in Psychology*, 8(1997). doi:10.3389/fpsyg.2017.01997
- Kyrieleis, A. (n.d.). Biologie. In *Lexikon der Biologie*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag. Zugriff am 04.02.2018 unter <http://www.spektrum.de/lexikon/biologie/biologie/8664>
- Lehman, M., Smith, M. A. & Karpicke, J. D. (2014). Toward an episodic context account of retrieval-based learning: Dissociating retrieval practice and elaboration. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 40(6), 1787-1794.
- Lohnas, L. J. & Kahana, M. J. (2014). A retrieved context account of spacing and repetition effects in free recall. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 40(3), 755-764.
- Martin, B. L., Mintzes, J. J. & Clavijo, I. E. (2000). Restructuring knowledge in biology: Cognitive processes and metacognitive reflections. *International Journal of Science Education*, 22, 303-323.
- Mayer, R. E. (2002). *The promise of educational psychology: Teaching for meaningful learning* (Vol. 2.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Miller, N. L., Cañas, A. J. & Novak, J. D. (2008). Use of the CmapTools recorder to explore acquisition of skill in concept mapping. In A. J. Cañas, P. Reiska, M. K. Åhlberg & J. D. Novak (Eds.), *Concept mapping: Connecting educators. Proceedings of the 3rd International Conference on Concept Mapping* (Vol. 2, pp. 674-681). Tallinn, Estonia: Tallinn University.
- Mintzes, J. J., Cañas, A. J., Coffey, J., Gorman, J., Gurley, L., Hoffman, R., McGuire, S. Y., Miller, N., Moon, B., Trifone, J. & Wandersee, J. H. (2011). Comment on "Retrieval Practice Produces More Learning than *Elaborative studying* with Concept Mapping" [Technical Comment]. *Science*, 334, 453.
- Mintzes, J. J., Wandersee, J. H. & Novak, J. D. (2001). Assessing understanding in biology. *Journal of Biological Education*, 35, 118-124.
- Nesbit, J. C. & Adesope, O. O. (2006). Learning with concept and knowledge maps: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, 76, 413-448.
- Novak, J. D. (1990). Concept maps and Vee diagrams: Two metacognitive tools to facilitate meaningful learning. *Instructional Science*, 19, 29-52.
- Novak, J. D. & Cañas, A. J. (2008). *The theory underlying concept maps and how to construct them* (Research Report IHMC CmapTools 2006-01 Rev 01-2008). Florida: Institute for Human and Machine Cognition.
- Nückles, M., Hübner, S., Dümer, S. & Renkl, A. (2010). Expertise reversal effects in writing-to-learn. *Instructional Science*, 10, 237-258.
- Paivio, A. (1986). *Mental representations: A dual coding approach*. Oxford, UK: University Press.
- Pashler, H., Rohrer, D., Cepeda, N. J. & Carpenter, S. K. (2007). Enhancing learning and retarding forgetting: Choices and consequences. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14, 187-193.
- Pearsall, N. R., Skipper, J. E. J. & Mintzes, J. J. (1997). Knowledge restructuring in the life sciences: A longitudinal study of conceptual change in biology. *Science Education*, 81, 193-215.
- Purves, W. K., Sadava, D. E. & Markl, J. (2011). *Biologie* (9. Aufl.). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Pyc, M. A. & Rawson, K. A. (2009). Testing the retrieval effort hypothesis: Does greater difficulty correctly recalling information lead to higher levels of memory? *Journal of Memory and Language*, 60, 437-447.
- Quinn, H. J., Mintzes, J. J. & Laws, R. A. (2003). Successive concept mapping: Assessing understanding in college science classes. *Journal of College Science Teaching*, 33, 12-17.
- Roediger, H. L. & Karpicke, J. D. (2006). The power of testing memory: Basic research and implications for educational practice. *Perspectives on Psychological Science*, 1, 181-210.

- Roth, W. M. & Roychoudhury, A. (1993). The concept map as a tool for the collaborative construction of knowledge: A microanalysis of high school physics students. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 503-534.
- Ruiz-Primo, M. A. & Shavelson, R. J. (1996). Problems and issues in the use of concept maps in science assessment. *Journal of Research in Science Teaching*, 33, 569-600.
- Stracke, I. (2004). *Einsatz computerbasierter Concept Maps zur Wissensdiagnose in der Chemie*. Münster: Waxmann.
- Sumfleth, E., Neuroth, J. & Leutner, D. (2010). Concept Mapping – eine Lernstrategie muss man lernen. *Chemkon*, 17(2), 66-70.
- Sweller, J. (2005). Implications of cognitive load theory for multimedia learning. In R. Mayer (Ed.), *Cambridge handbook of multimedia learning*. New York, NY: Cambridge University Press.
- Sweller, J., van Merriënboër, J. J. G. & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10, 251-296.
- Tripto, J., Assaraf, O. B. Z., Snapir, Z. & Amit, M. (2017). How is the body's systemic nature manifested amongst high school biology students? *Instructional Science*, 45(1), 73-98.
- Weinstein, C. E. & Mayer, R. E. (1986). The teaching of learning strategies. In M. C. Wittrock (Ed.), *Handbook of research on teaching* (Vol. 3, pp. 315-327). New York, NY: Macmillan.
- Wetzels, S. A., Kester, L., van Merriënboer, J. J. G. & Broers, N. J. (2011). The influence of prior knowledge on the retrieval-directed function of note taking in prior knowledge activation. *British Journal of Educational Psychology*, 81(2), 274-291.
- Young, J. Q., Boscardin, C. K., van Dijk, S. M., Abdullah, R., Irby, D. M., Sewell, J. L., Cate, O. T. & O'Sullivan, P. S. (2017). Performance of a cognitive load inventory during simulated handoffs: Evidence for validity. *SAGE Open Medicine*, 4. doi: <http://doi.org/10.1177/2050312116682254>

Kontakt

Herr J-Prof. Dr. Jörg Großschedl
Universität zu Köln
Institut für Biologiedidaktik
Herbert-Lewin-Str. 10
D 50931 Köln
E-Mail: j.grossschedl@uni-koeln.de