

## Hilfen beim Experimentieren Auswirkungen unterschiedlicher Arten der Unterstützung auf den extraneous Cognitive Load

Sofie Schmidt, Cornelia Stiller & Matthias Wilde

sofie.schmidt2@web.de - cornelia.stiller@uni-bielefeld.de

matthias.wilde@uni-bielefeld.de

Biologiedidaktik (Humanbiologie & Zoologie), Universität Bielefeld,

Universitätsstraße 25, 33615 Bielefeld

### **Zusammenfassung**

*Eigenständiges Experimentieren fördert Kompetenzen der Erkenntnisgewinnung, kann aber ohne adäquate Unterstützung zu kognitiver Überforderung führen. Die Cognitive Load Theory bietet einen theoretischen Hintergrund, mit dem kognitive Belastungen beschrieben werden können. Durch eine angemessene Unterstützung der Lerner beim Experimentieren kann der extraneous Cognitive Load (lernirrelevante kognitive Belastung) reduziert werden. In einer quasiexperimentellen Studie in den Jahrgangstufen 5 und 6 ( $N = 201$ ) wurde untersucht, wie sich drei verschiedene Arten der Unterstützung während des Experimentierens mit Kellerrasseln auf den extraneous Cognitive Load auswirken. In dem Treatment mit einer schrittweisen Kochrezept-Anleitung wurde der geringste extraneous Cognitive Load berichtet, gefolgt von dem Treatment mit mündlichen Forscherhinweisen. Beim Experimentieren mit schriftlichen Forscherhinweisen wurde die höchste lernirrelevante kognitive Belastung seitens der Schülerinnen und Schüler berichtet.*

### **Abstract**

*Autonomous experimentation promotes competences of scientific inquiry. However, it might cause cognitive overload if it is not supported adequately. The Cognitive Load Theory provides a theoretical background by which cognitive load can be described. Thus, the extraneous cognitive load (cognitive load that is irrelevant for learning) can be reduced by an adequate support of the learner during experimentation. A quasi-experimental study with students in grades 5 and 6 ( $N = 201$ ) was conducted to examine how three different types of support during experimentation with isopods affects the extraneous cognitive load. The lowest extraneous cognitive load was reported in the treatment with a step-by-step recipe-instruction, followed by the treatment with oral research-tips. Students who experimented with written research-tips in form of help-cards reported the highest extraneous cognitive load.*

## 1 Einleitung

Naturwissenschaftliche Grundbildung impliziert die Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlichen Methoden der Erkenntnisgewinnung wie dem hypothesengeleiteten Experimentieren (KMK, 2005). Dazu sollten die Schülerinnen und Schüler die Schritte des naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges selbstständig kognitiv erfassen (BAUMANN, 2014) und eigenständig experimentieren (HOF, 2011). Beim Experimentieren nach Schritt-für-Schritt-Anleitungen wird kritisiert, dass Lerner diese gedanklich nicht ausreichend nachvollziehen (BAUMANN, 2014). Deswegen wird vielfach gefordert, den Unterricht mehr zu öffnen (DI FUCCIA, 2013; REITINGER, 2013). Offenes eigenständiges Experimentieren gilt jedoch als kognitiv fordernd bzw. sogar als überfordernd (ARNOLD, 2015; KIRSCHNER, SWELLER & CLARK, 2006). Unter Rückbezug auf die *Cognitive Load Theorie (CLT)* wird deswegen von zentralen Vertretern für komplexe Lernaufgaben die Notwendigkeit direkter, stark anleitender Instruktionen gefordert (KIRSCHNER ET AL., 2006; MERRIËNBOER & SWELLER, 2005). Dies widerspricht der zuvor beschriebenen Förderung von Kompetenzen der Erkenntnisgewinnung durch Eigenständigkeit. Nach ARNOLD (2015) sowie LAZONDER und HARMSSEN (2016) kann eine adäquate Instruktion kognitive Überforderung verhindern und eigenständiges Experimentieren unter diesen Bedingungen vorteilhaft gegenüber direkter Instruktion sein. Nach der *CLT* zielt eine adäquate Instruktion auf eine Reduktion der lernirrelevanten kognitiven Belastung (*extraneous Cognitive Load*) ab (MERRIËNBOER & SWELLER, 2005). Es stellt sich also bezüglich komplexer Lernaufgaben, wie dem Experimentieren, die Frage, welche Art der Unterstützung den *extraneous Cognitive Load* verringert.

## 2 Theorie

Die *Cognitive Load Theory (CLT)* ist eine Theorie zum Wissenserwerb (RENKL, 2009) und gilt als empirisch gut abgesichert (REY & NIEDING, 2010). Als theoretisch und empirisch fundierter Hintergrund zum eigenständigen Experimentieren können das *Forschende Lernen* und dessen Öffnungsgrade herangezogen werden (ARNOLD, 2015).

### 2.1 Cognitive Load Theory (CLT)

Die *CLT* betrachtet das Langzeit- und das Arbeitsgedächtnis als zentrale kognitive Strukturen sowie deren Wechselspiel (REY & NIEDING, 2010), um Hinweise darauf zu erhalten, wie Lernen optimiert werden kann (MERRIËNBOER & SWELLER, 2005). Das Langzeitgedächtnis ist ein sehr großer und unbewusster Speicher (REY & NIEDING, 2010), in dem bereits gelerntes Wissen in kognitiven Schemata organisiert ist. Diese Schemata können unterschiedlich komplex und

automatisiert sein und bestimmen die Expertise eines Menschen (MERRIËNBOER & SWELLER, 2005). Im Arbeitsgedächtnis befinden sich jene Informationen, die dem Menschen bewusst sind. Diese können aus dem Langzeitgedächtnis oder aus dem sensorischen Speicher, welcher Sinneseindrücke aufnimmt, stammen (REY & NIEDING, 2010). Das Arbeitsgedächtnis kann nur wenige Elemente gleichzeitig verarbeiten und ohne Wiederholung gehen diese nach einigen Sekunden wieder verloren. Es ist bei der Verarbeitung von neuen Informationen also begrenzt. Kognitive Schemata fassen mit steigender Expertise jedoch einfache Ideen in komplexere zusammen. Werden sie aus dem Langzeitgedächtnis abgerufen, können sie dann als ein Element im Arbeitsgedächtnis behandelt werden und dessen Kapazität für andere Aktivitäten freimachen (MERRIËNBOER & SWELLER, 2005).

Die Belastung des Arbeitsgedächtnisses wird *Cognitive Load (CL)* genannt. Unterschieden wird dabei zwischen drei Arten: *intrinsic*, *extraneous* und *germane CL*. Diese addieren sich zum *total CL*, welcher innerhalb der Kapazitätsgrenze des Arbeitsgedächtnisses liegen muss (MERRIËNBOER & SWELLER, 2005). Der *intrinsic CL* wird von der Elementinteraktivität des Lernmaterials sowie der Expertise des Lernalters bestimmt (REY & NIEDING, 2010). Die Elementinteraktivität ist ein Maß dafür, ob Elemente eher simultan oder aufeinanderfolgend im Arbeitsgedächtnis behandelt werden müssen (REY & NIEDING, 2010). Eine höhere Elementinteraktivität (simultane Verarbeitung) führt eher zu einem höheren *intrinsic CL*, während eine niedrigere Elementinteraktivität (aufeinanderfolgende Verarbeitung) mit einem niedrigeren *intrinsic CL* verbunden ist. Sind bei einer gewissen Expertise kognitive Schemata vorhanden, können mehrere Elemente zu einem verbunden und damit die Elementinteraktivität reduziert werden. Der *intrinsic CL* kann also durch Steigerung der Expertise sowie durch eine inhaltlichen Vereinfachung der Aufgabe, nicht aber durch die Instruktion reduziert werden (MERRIËNBOER & SWELLER, 2005). Der *germane CL* wird durch die kognitiven Ressourcen bestimmt, die zur Schemata-Konstruktion und Automatisierung beitragen. Er wird als lernrelevante kognitive Belastung bezeichnet (REY & NIEDING, 2010). Lernende sollten dazu motiviert werden, kognitive Ressourcen in lernrelevante mentale Prozesse, also in den *germane CL*, zu investieren (MERRIËNBOER & SWELLER, 2005). Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass kognitive Kapazität frei ist. Deswegen fokussiert die *CLT* bei der Optimierung von Präsentation und Instruktion von komplexen Lernaufgaben, zu denen Experimentieren zählt, zunächst eine Reduktion des lernirrelevanten *extraneous CLs* (MERRIËNBOER & SWELLER, 2005). Möglichkeiten dazu sind unter anderem der Einsatz von ausgearbeiteten Lösungsbeispielen, eine räumliche und zeitliche Nähe von Informationsquellen, eine multi- statt unimodale oder -mediale Präsentation sowie der Ausschluss redundanter

oder unnötiger Informationen (MERRIËNBOER & SWELLER, 2005; UNTERBRUNER, 2007).

## 2.2 Forschendes Lernen und Experimentieren

Die konkrete Ausgestaltung von *Forschendem Lernen* und seiner Öffnungsgrade variiert je nach Disziplin. *Forschendes Lernen* in den Naturwissenschaften, im Sinne des englischen Äquivalents *Inquiry-based-Learning* (SCHMIDT, 2014), wird oft als allgemeines Synonym für verschiedene Herangehensweisen beim Lernen verwendet. Gemein ist diesen die Ausrichtung des Lernprozesses am hypothetisch-deduktiven Vorgehen und an den Schritten des wissenschaftlichen Erkenntniswegs (BRUCKERMANN, ARNOLD, KREMER & SCHLÜTER, 2017; HOF, 2011; BUCK, BRETZ & TOWNS, 2008). Dazu gehören Beobachtung, Finden einer Fragestellung, Hypothesenbildung, Planung einer Untersuchung, deren Durchführung sowie Darstellung, Auswertung und Interpretation der Ergebnisse (MAYER & ZIEMEK, 2006). Zudem gehört die Verwendung verschiedener wissenschaftlicher Verfahren und Methoden zum *Forschenden Lernen* (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1996). Eine wichtige Erkenntnismethode in den Naturwissenschaften ist das Experimentieren (ARNOLD, 2015; BRUCKERMANN ET AL., 2017). Dabei wird ein künstlich hergestellter Zustand oder ausgelöster Vorgang mittels systematischer Variierung eines Faktors sowie unter Kontrolle möglichst aller weiteren beeinflussenden Faktoren untersucht, um Ursache-Wirkungs-Beziehungen zu erfassen. Bei der Planung sind verschiedene anspruchsvolle Aspekte wie die Kontrolle anderer Variablen, die Anzahl der Versuchswiederholungen oder die Randomisierung des Vorgehens zu berücksichtigen (MAYER & ZIEMEK, 2006).

Beim *Forschenden Lernen* werden verschiedene Grade der Öffnung meist in Bezug auf die Schritte des Erkenntniswegs differenziert (BELL, SMETANA & BINNS, 2005), sodass sie sich auf das Experimentieren übertragen lassen. Zu beachten sind die uneinheitlichen Begriffsverwendungen in verschiedenen Studien (BUCK ET AL., 2008). Dieser Beitrag fokussiert *structured* und *guided inquiry* entsprechend der Einteilung von BELL ET AL. (2005). Bei *structured inquiry* untersuchen die Lernenden eine vorgegebene Frage mit einer schrittweisen Kochrezept-Anleitung (*recipe-instruction*) (BELL ET AL., 2005). Dies gilt jedoch als unzureichend für die Entwicklung kritischen wissenschaftlichen Denkens sowie angemessener epistemischer Vorstellungen (SADEH & ZION, 2012). Bei *guided inquiry* wählen und planen die Lernenden ihr Vorgehen zur vorgegebenen Fragestellung selbst. Dabei kann zusätzliche schriftliche oder mündliche Unterstützung (*Written Scaffolds*, *Dialogue Scaffolds*) dargeboten werden (BELL ET AL., 2005; EMDEN & KOENEN, 2016), über deren Nutzung die Schülerinnen und Schüler selbst entscheiden können sollten (KOENEN, 2016). Unter minimaler Anleitung wird *guided inquiry*, aufgrund der Annahme einer

kognitive Überlastung nach der *CLT*, jedoch ebenfalls weder als effizient noch effektiv beschrieben (KIRSCHNER ET AL., 2006, MAYER, 2004). Studien zu *guided inquiry* zeigen allerdings, dass derartig ausgestaltetes *Forschendes Lernen* sich mit adäquater Unterstützung günstig auf den Lernerfolg auswirken kann (ARNOLD, 2015; FURTAK, SEIDEL, IVERSON & BRIGGS, 2012; LAZONDER & HARMSSEN, 2016). In der Studie von ARNOLD (2015) wurde darüber hinaus der *Cognitive Load* in den Fokus genommen. Es konnte gezeigt werden, dass eine Strukturierung der Lernumgebung beim Experimentieren durch Lernunterstützungen im Vergleich zu einer Lernumgebung ohne zusätzliche Lernunterstützung zu einer Reduktion des *Cognitive Load* führt (ARNOLD, 2015).

### 3 Fragestellung und Hypothesen

In dieser Studie wurde die Frage untersucht, welche Art der Unterstützung beim Experimentieren adäquat ist. Der *extraneous CL* wird als wichtiger Indikator für eine optimale Lernunterstützung gesehen und zur Erklärung der Nachteile minimaler Anleitung gegenüber direkter Instruktion herangezogen (KIRSCHNER ET AL., 2006; MERRIËNBOER & SWELLER, 2005). Konkret geht diese Studie deswegen der Fragestellung nach, welchen Einfluss verschiedene Unterstützungsmöglichkeiten beim Experimentieren auf den *extraneous Cognitive Load* haben.

Experimentieren im Sinne von *guided inquiry* erfordert die Auswahl und Planung eines geeigneten Vorgehens (BELL ET AL., 2005). Schritt-für-Schritt-Anleitungen bei *structured inquiry* hingegen liefern ein ausgearbeitetes Vorgehen für das Experiment und verringern nach der *CLT* dadurch den *extraneous CL* (MERRIËNBOER & SWELLER, 2005).

**Hypothese 1 (H1):** *Structured inquiry* ist mit einem geringeren *extraneous CL* verbunden als *guided inquiry*.

Instruktion und Präsentationsform können den *extraneous CL* beeinflussen (MERRIËNBOER & SWELLER, 2005). Bei *guided inquiry* mit unterschiedlichen Unterstützungsformen lassen sich deswegen diesbezüglich Unterschiede erwarten.

**Hypothese 2 (H2):** Verschiedene Unterstützungsformen bei *guided inquiry* unterscheiden sich im *extraneous CL*.

Im Rahmen des hypothetisch-deduktiven Erkenntnisgangs ist es für Schülerinnen und Schüler entscheidend, die einzelnen Schritte des Prozesses bewusst zu durchlaufen und zu begreifen (HOFSTEIN & LUNETTA, 2004). Als Werkzeug, um dies den Schülerinnen und Schülern zu vergegenwärtigen und ihnen gleich-

zeitig dabei zu helfen, können prozessbezogene Dokumentationen bzw. Sicherungen hilfreich sein, wie sie z.B. häufig in Form von Protokollen bzw. Forscherberichten auch in der Schule eingesetzt werden. Diese Form der Prozessbegleitung kann Hinweise darauf geben, wie intensiv die einzelnen Schritte des Experimentierens durchlaufen wurden und wie diese verstanden wurden. Insofern können Protokolle als Indikator für „Prozesswissen“ fungieren. Ein erhöhter *extraneous* CL lässt weniger Ressourcen für lernrelevante kognitive Belastungen (MERRIENBOER & SWELLER, 2005) und sollte sich demnach auch auf das Prozesswissen auswirken. Demnach ergeben sich folgende Hypothesen:

**Hypothese 3 (H3):** Der *extraneous* CL korreliert mit Prozesswissen.

**Hypothese 4 (H4):** *Structured inquiry* ist mit einem höherem Prozesswissen verbunden als *guided inquiry*.

## 4 Methodik

In dieser Studie wurden 201 Schülerinnen und Schüler ( $M = 11.21$  Jahre,  $SD = 0.70$  Jahre, 51.4 % weiblich) aus den Jahrgangsstufen 5 und 6 zweier Gymnasien untersucht. Die Untersuchung fand im Rahmen einer vierstündigen Unterrichtseinheit zum Thema „Lebensraumwahl von Asseln“ statt, in der die Probanden ein Experiment zur Habitatwahl (feucht oder trocken) von Asseln durchführten. Die neun Klassen zweier Gymnasien wurden zufällig auf die drei Treatments „*structured inquiry* nach Kochrezept-Anleitung (KR)“ ( $n = 73$ ,  $M = 11.46$  Jahre,  $SD = .70$  Jahre, 49.3 % weiblich), „*guided inquiry* mit schriftlichen Forscherhinweisen (sH)“ ( $n = 63$ ,  $M = 11.05$  Jahre,  $SD = .64$  Jahre, 49.2 % weiblich) und „*guided inquiry* mit mündlichen Forscherhinweisen (mH)“ ( $n = 65$ ,  $M = 11.09$  Jahre,  $SD = .68$  Jahre, 56.1 % weiblich) verteilt. Die drei Treatments unterschieden sich nur hinsichtlich der dargebotenen Unterstützung (Kochrezept-Anleitung, schriftliche Hinweise, mündliche Hinweise) beim praktischen Experimentieren. Die Erhebung des *extraneous* CLs fand direkt im Anschluss an das praktische Experimentieren statt.

Zur Messung des *extraneous* CLs wurde ein Fragebogen bestehend aus vier Items in Anlehnung an KLEPSCH, SCHMITZ und SEUFERT (2017) entwickelt, z.B.: *Ich würde sagen, bei den Aufgaben im heutigen Unterricht war die Darstellung ungünstig, um wirklich etwas zu lernen.* Die Aussagen der vier Items bewerteten die Probanden bezogen auf die letzte Unterrichtsstunde auf einer fünfstufigen Rating-Skala von 0 = *stimmt gar nicht* bis 4 = *stimmt völlig*. Um zu überprüfen, ob die vier Items tatsächlich ein gemeinsames latentes Konstrukt messen, wurde eine Hauptachsenfaktorenanalyse durchgeführt (BÜHNER, 2011). Der Kaiser-Meyer-Olkin-Koeffizient lag bei 0.67, so dass die Voraus-

setzungen für eine Faktorenanalyse erfüllt sind (BÜHNER, 2011). Sowohl der Minimum-Average-Partial-Test (MAP-Test) als auch die Parallelanalyse sprechen für eine Ein-Faktoren-Lösung. Der Faktor *extraneous CL* weist dabei einen Eigenwert von 1.60 und eine erklärte Gesamtvarianz von 39.92 % auf. Die Faktorladungen der vier Items lagen zwischen .41 und .82 und sind somit bedeutsam (BÜHNER, 2011). Die Trennschärfen lagen zwischen .39 und .60, also insgesamt noch in einem guten Bereich (MOOSBRUGGER & KELAVA, 2012). Die Reliabilität ist mit einem Cronbachs-Alpha von .69 noch als akzeptabel zu bewerten (DEVELLIS, R. F., 2012).

Um das Prozesswissen zu erfassen, wurden die Protokolle der Schülerinnen und Schüler, die diese während des Experimentierens erstellten, ausgewertet. Dazu wurde für die Bewertung der Protokolle ein Kodierleitfaden (HAMMANN & JÖRDENS, 2014) erstellt, mit dem alle Protokolle bewertet wurden. Zur Bestimmung der Beurteilerübereinstimmung wurden ca. 35 % der Protokolle durch einen zweiten Auswerter unabhängig voneinander bewertet. Für die Auswertung wurden nur die Protokollteile zur Beobachtung (Wie wurden die Beobachtungsdaten protokolliert?), zu Ergebnisse auswerten (Berechnung des Durchschnitts und Beschreibung der Ergebnisse) und zur Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt, da ein Großteil der Schülerinnen und Schüler die Experimente in der zur Verfügung stehenden Zeit nicht beenden konnten (KR-Treatment: 45,6 %; mH-Treatment: 68,3 %; sH-Treatment: 34,2 %). Als Maß für die Interrater-Reliabilität wurde Cohens Kappa bestimmt (HAMMANN & JÖRDENS, 2014; WIRTZ & CASPAR, 2002). Die über alle Items gemittelte Interrater-Reliabilität in dieser Studie spricht für eine gute Übereinstimmung (Cohens Kappa:  $\kappa=.73$ ; vgl. HAMMANN & JÖRDENS, 2014; WIRTZ & CASPAR, 2002). Zur Kontrolle weiterer relevanter Faktoren wurde die letzte Halbjahresnote in Biologie und die Nutzung der Forscherhinweise erhoben. Um Kenntnisse zur Nutzung der Forscherhinweise zu erlangen, wurden die Schülerinnen und Schüler gebeten, beim Experimentieren zu protokollieren, wenn sie einen Forscherhinweis genutzt haben.

Der zwischen den Treatments variierende praktische Teil (Planung, Durchführung, Auswertung und Interpretation) fand in der dritten Stunde der Unterrichtseinheit statt. In den vorherigen beiden Unterrichtsstunden wurde der wissenschaftliche Erkenntnisweg besprochen sowie Beobachtung, Forschungsfrage und Hypothese für das Experiment in einem fragend-entwickelnden Unterrichtsgespräch formuliert. In der vierten Stunde erfolgte eine Sicherung in Form eines Unterrichtsgesprächs. Für den praktischen Teil erhielten die Lernenden aller drei Treatments Protokollvorlagen mit den Schritten des Erkenntniswegs, welche die Strukturierung ihres Arbeitsprozesses erleichtern (KOELEN, 2016). Probanden im Treatment KR experimentierten mit einer Kochre-

zept-Anleitung, die sie Schritt für Schritt durch das Experiment führte. Als Unterstützung bei *guided inquiry* wurden zu jedem Schritt des Erkenntniswegs je zwei bis drei Forscherhinweise konzipiert, auf die die Probanden bei Bedarf zurückgreifen konnten. Diese Hinweise werden innerhalb jedes Schrittes konkreter (von Heuristiken über Scaffolds zu Erklärungen, vgl. LAZONDER & HARMSEN, 2016). Im Treatment sH wurden die Forscherhinweise schriftlich in Form von Hilfekarten (insgesamt 14), im Treatment mH mündlich durch die Lehrperson (insgesamt 8) dargeboten. In beiden Treatments konnten die Schülerinnen und Schüler entscheiden, ob und welche Hilfe sie in Anspruch nahmen.

Die statistische Auswertung erfolgte mit einer einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA). Um zu identifizieren, wo die Unterschiede konkret lagen, wurden Post-hoc Analysen durchgeführt. Aufgrund unterschiedlicher Gruppenvarianzen (signifikanter Levene-Test) wurde die Teststatistik des Games-Howell-Tests genutzt (FIELD, 2009). Effektstärken werden als partielles Eta-Quadrat angegeben und nach COHEN (1988) interpretiert.

## 5 Ergebnisse

In der vorliegenden Studie standen die Auswirkungen der Unterstützungsform beim Experimentieren auf den *extraneous Cognitive Load (CL)* im Fokus. Dazu wurden *structured inquiry* nach Kochrezept (KR-Treatment) sowie *guided inquiry* unterstützt durch schriftliche oder mündliche Forscherhinweise (sH- und mH-Treatment) untersucht.

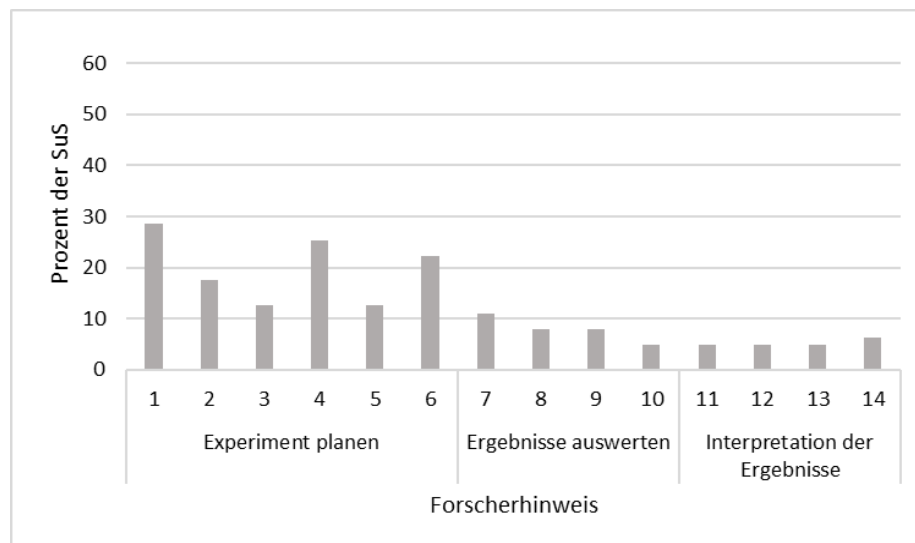
### 5.1 Vorbedingungen

Als Hinweis auf mögliche weitere beeinflussende Faktoren wurde die letzte Halbjahresnote in Biologie erhoben (KR-Treatment:  $M = 2.42$ ,  $SD = 0.75$ ; sH-Treatment:  $M = 2.64$ ,  $SD = 0.71$ ; mH-Treatment:  $M = 2.53$ ,  $SD = 0.81$ ). Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Treatmentgruppen bezüglich der Biologienote ( $F(2,183) = 1.11$ ,  $p = .33$ ).

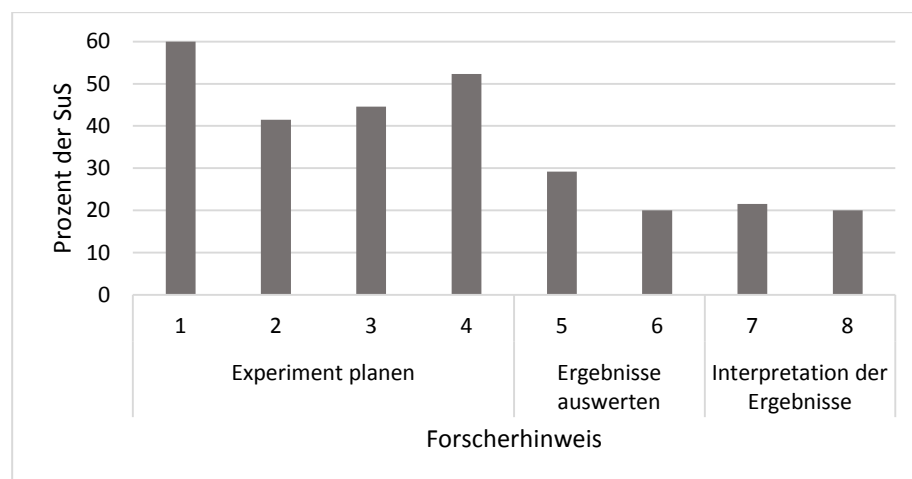
Bei der Auswertung der Nutzung der Lernunterstützungen zeigte sich, dass in beiden Gruppen um die 50 % der Schülerinnen und Schüler angaben, keinen der Forscherhinweise genutzt zu haben (sH-Treatment: 50,8 %; mH-Treatment: 43,3 %). Betrachtet man die Nutzung der Forscherhinweise auf Ebene der einzelnen Forscherhinweise, wird deutlich, dass in beiden Gruppen die prozentuale Häufigkeit der Nutzung im Verlauf des Experimentierens abnimmt (Abbildung 1 und 2). Für den Schritt *Experiment planen* haben die Schülerinnen und Schüler eher auf die Forscherhinweise zurückzugegriffen als für die folgenden Schritte *Ergebnisse auswerten* und *Interpretation der Ergebnisse*. Auch in der



Studie von Arnold (2015) zeigte sich, dass die angebotenen Lernunterstützungen in einem ähnlichen Ausmaß genutzt wurden wie auch in dieser Untersuchung.



**Abbildung 1:** Prozentuale Häufigkeit der Nutzung der einzelnen Forscherrhinweise durch die Schülerinnen und Schüler (SuS) in der Gruppe sH (schriftliche Forscherrhinweise).



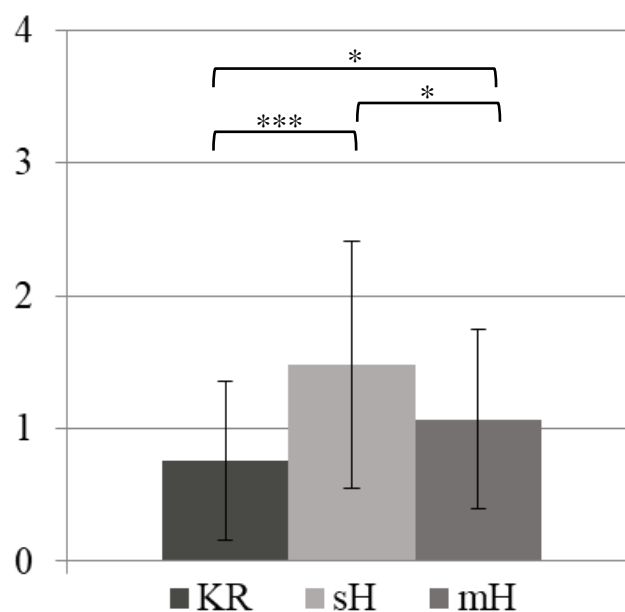
**Abbildung 2:** Prozentuale Häufigkeit der Nutzung der einzelnen Forscherrhinweise durch die Schülerinnen und Schüler (SuS) in der Gruppe mH (mündliche Forscherrhinweise).

## 5.2 Ergebnisse zu den Hypothesen

Die *extraneous CL*-Werte lagen durchschnittlich bei 1.09 ( $SD = 0.78$ ) und damit im unteren Drittel der möglichen Ausprägungen. Beim Treatment KR lag der Mittelwert bei 0.76 ( $SD = 0.57$ ), bei sH bei 1.48 ( $SD = 0.93$ ) und bei mH bei 1.07 ( $SD = 0.67$ ). Die statistische Analyse mit einer ANOVA ergab signifikante Unterschiede im *extraneous Cognitive Load* zwischen den Treatmentgruppen ( $F(2,198) = 16.22, p < .001, \eta_p^2 = .14$ ). Der Games-Howell Post-hoc Test (vgl. Abbildung 1) zeigte signifikante Unterschiede zwischen KR und sH ( $p < .001$ ), zwischen KR und mH ( $p < .05$ ) und zwischen sH und mH ( $p < .05$ ). Die Schülerinnen und Schüler im KR-Treatment nahmen einen signi-

signifikant geringeren *extraneous CL* im Vergleich zu den Probanden im sH-Treatment (-0.72, 95 %-CI [0.39, 1.04]) und zu den Probanden im mH-Treatment (-0.30, 95 %-CI [0.05, 0.75]) (vgl. Abbildung 1) wahr. Schülerinnen und Schüler im sH-Treatment berichteten einen signifikant höheren *extraneous CL* als Schülerinnen und Schüler im Treatment mH (0.41, 95 %-CI [0.05, 0.55]) (vgl. Abbildung 3).

In dieser Studie erwies sich *structured inquiry* bezüglich des *extraneous CLs* als vorteilhaft gegenüber *guided inquiry* (*Hypothese 1*). Innerhalb von *guided inquiry* zeigte sich bei mündlichen Forscherhinweisen ein geringerer *extraneous CL* im Vergleich zu schriftlichen Forscherhinweisen (*Hypothese 2*)

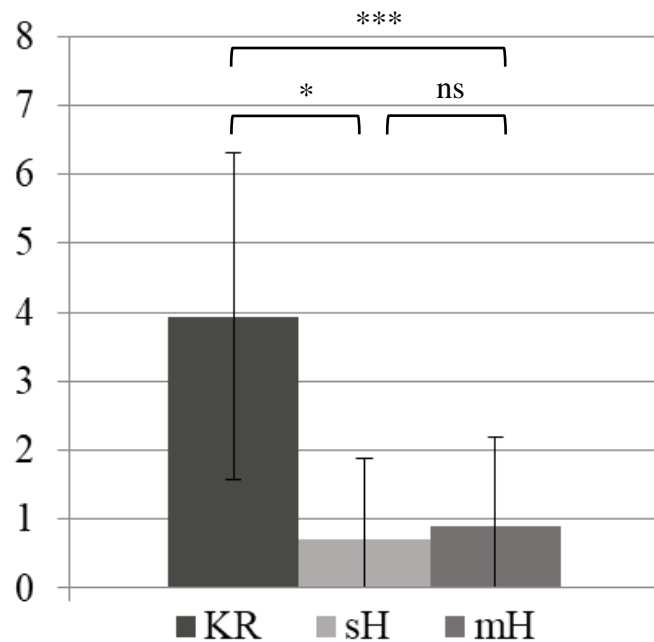


**Abbildung 3:** Post-hoc-Analyse (Games-Howell) zum *extraneous Cognitive Load*: (\* =  $p < .05$ , \*\*\* =  $p < .001$ ). Kochrezept (KR):  $M = 0.76$ ,  $SD = 0.57$ ; schriftliche Hilfen (sH):  $M = 1.48$ ,  $SD = 0.93$ ; mündliche Hilfen (mH):  $M = 1.07$ ,  $SD = 0.67$ .

Das Ausmaß des *extraneous CL* und das Prozesswissen korrelierten negativ miteinander ( $r = -.282$ ,  $p < .01$ ). Je höher also die Schülerinnen kognitiv belastet waren, desto niedrigere Werte erreichten sie im Prozesswissen. Damit kann die dritte Hypothese bestätigt werden.

Die statistische Analyse mit einer ANOVA ergab signifikante Unterschiede im *Prozesswissen* zwischen den Treatmentgruppen ( $F(2,173) = 420.88$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .44$ ). Der Games-Howell Post-hoc Test (vgl. Abbildung 4) zeigte signifikante Unterschiede zwischen KR und sH ( $p < .001$ ) und zwischen KR und mH ( $p < .05$ ). Die beiden Treatmentgruppen mit Forscherhinweisen unterschieden sich nicht signifikant voneinander ( $p = .44$ ; -0.21, 95 %-CI [-0.30, 0.72]). Die Schülerinnen und Schüler im KR-Treatment erreichten signifikant höhere Werte im Prozesswissen im Vergleich zu den Schülerinnen und Schülern im sH-Treatment (3.23, 95 %-CI [2.44, 4.02]) und zu den Probanden im mH-

Treatment (3.02, 95 %-CI [2.21, 3.82]). Demnach kann die vierte Hypothese bestätigt werden.



**Abbildung 4:** Post-hoc-Analyse (Games-Howell) zum Prozesswissen: (\* =  $p < .05$ , \*\*\* =  $p < .001$ ). Kochrezept (KR):  $M = 3.94$ ,  $SD = 2.37$ ; schriftliche Hilfen (sH):  $M = 0.71$ ,  $SD = 1,17$ ; mündliche Hilfen (mH):  $M = 0.91$ ,  $SD = 1.28$ .

## 6 Diskussion

Das Ziel dieser Studie war die Untersuchung der Auswirkungen unterschiedlicher Unterstützungsformen beim Experimentieren auf den *extraneous Cognitive Load (CL)*, welcher nach MERRIËNBOER und SWELLER (2005) bei derartigen komplexen Lernaufgaben reduziert werden sollte. Die Werte des *extraneous CLs* lagen in allen drei Treatmentbedingungen im unteren Drittel der Skala und waren somit auffällig niedrig. Eine Interpretation dieses Befunds ist jedoch schwierig, weil die Schülerinnen und Schüler möglicherweise aufgrund des Phänomens der sozialen Erwünschtheit (MOOSBRUGGER & KELAVA, 2012) keine hohe kognitive Belastung durch das Material bzw. die Instruktion offenlegen wollten. Ansonsten zeigten sich theoriekonforme Befunde mit einer großen Effektstärke. *Structured inquiry* nach Kochrezept-Anleitung (KR) ist mit einem geringeren *extraneous CL* verbunden als *guided inquiry*, bei welchem die Lernenden ihr Vorgehen selbstständig planen (H1), wobei sie durch Forscherhinweise in schriftlicher (sH) oder mündlicher (mH) Form unterstützt wurden. Bei *guided inquiry* unterscheiden sich diese beiden verschiedenen Unterstützungsformen im *extraneous CL*. Es zeigte sich, dass die Lernenden des sH-Treatments einen signifikant höheren *extraneous CL* berichteten als die Lernenden des mH-Treatments.

Das Nachvollziehen einer ausgearbeiteten Kochrezept-Anleitung beansprucht weniger kognitive Ressourcen als die Problemlösungs-Suche bei *guided inquiry* und verringert somit den *extraneous CL* (MERRIËNBOER & SWELLER, 2005). Die Ergebnisse zeigen, dass das direkt instruierende *structured inquiry* sich bezüglich des *extraneous CLs* tatsächlich als vorteilhaft erweist. Eine mögliche Erklärung für die Unterschiede im *extraneous CL* bei *guided inquiry* mit mündlichen oder schriftlichen Forscherhinweisen könnte im Modalitäts-Prinzip zu finden sein: Eine Verwendung des visuellen und des auditiven Prozessors im Gehirn kann im Vergleich zu einer unimodalen Präsentation den *extraneous CL* verringern (UNTERBRUNER, 2007). In dieser Studie erhielten die Schülerinnen und Schüler beider Treatmentbedingungen einen Protokollbogen zu den Schritten des Erkenntnisweges (schriftlich). Die Kombination dieses Protokollbogens mit mündlichen Forscherhinweisen durch die Lehrkraft scheint gegenüber der Kombination mit schriftlichen Forscherhinweisen in Form von Hilfekarten bei *guided inquiry* vorteilhaft zu sein.

Die Vorteile für die Schülerinnen und Schüler, die nach einer Kochrezeptanleitung experimentierten, zeigten sich ebenfalls in Bezug auf das Prozesswissen. *Structured inquiry* erwies sich auch für das Prozesswissen mit einer hohen Effektstärke als vorteilhaft gegenüber *guided inquiry*. Die signifikante negative Korrelation von *extraneous CL* und Prozesswissen deutet darauf hin, dass beides zusammenhängt. Schülerinnen und Schüler mit Forscherhinweisen wiesen einen höheren *extraneous CL* auf und erreichten geringere Werte im Prozesswissen. Dieser Befund spricht demnach dafür, dass bei komplexen Aufgaben der *extraneous CL* reduziert werden sollte, damit Schülerinnen und Schülern ausreichend Kapazitäten für die Bearbeitung der Aufgabe zur Verfügung stehen, so wie es von MERRIËNBOER & SWELLER (2005) vorgeschlagen wurde.

Bezüglich des *extraneous CLs* und des Prozesswissens erwies sich, wie erwartet, *structured inquiry* nach Kochrezept-Anleitung als vorteilhaft. Allerdings gilt diese Form des Experimentierens als unzureichend bezüglich der wissenschaftlichen gedanklichen Aktivität der Lernenden (BAUMANN, 2014; SADEH & ZION, 2012). Es zeigt sich das Dilemma zwischen der erhöhten lernirrelevanten kognitiven Belastung bei selbstständigerem Experimentieren wie *guided inquiry* und dem fehlenden mentalen Durchdringen des Vorgehens bei Kochrezept-Anleitungen. Die Frage, ob insgesamt *structured* oder *guided inquiry* als bessere Unterstützung anzusehen ist, kann also nicht beantwortet werden. Zumindest zeigt diese Studie aber, dass bei der Entscheidung für *guided inquiry* (mit Protokollvorlagen als Strukturhilfe) eine mündliche Unterstützung vorteilhaft gegenüber schriftlichen Hilfekarten ist. Um einer möglichen Lösung des Dilemmas näher zu kommen, müssen zukünftig weitere abhängige Variablen untersucht werden, die unter anderem die gedankliche Aktivität berücksichti-

gen. Eine Möglichkeit hierzu liegt in der Erhebung des *germane CLs*, zumal die Forderung nach einer Reduktion des *extraneous CLs* damit begründet wird, dass kognitive Kapazität für lernrelevante mentale Prozesse, also für den *germane CL*, frei werden (MERRIËNBOER & SWELLER, 2005). Allerdings wurden im Rahmen dieser Studie die weiteren Formen des *Cognitive Load* nicht erhoben, so dass auch keine Aussagen darüber getroffen werden können, inwieweit sich die verschiedenen Unterstützungsformen auch auf diese auswirken. In weiteren Studien sollten deswegen auch der *germane* und der *intrinsic CL* fokussiert werden. Außerdem könnte weiter untersucht werden, inwieweit sich die verschiedenen Unterstützungsmaßnahmen und damit verbunden eine unterschiedliche kognitive Belastung auf die tatsächliche (kognitiven) Anstrengung bzw. das mentale Durchdringen des Vorgehens beim Experimentieren sowie das Lernen per se, z.B. im Sinne eines Wissenszuwachses auswirken. Ebenso könnten in weiteren Untersuchungen Kontrollvariablen wie Vorwissen und Lesefähigkeit Berücksichtigung finden.

## 7 Fazit

Insgesamt zeigt diese Studie, dass die Art der Unterstützung einen starken Effekt auf den *extraneous CL* hat. *Structured inquiry* mit einer schrittweisen Kochrezept-Anleitung scheint demnach den günstigsten Einfluss auf den *extraneous CL* zu haben, gefolgt von mündlichen und dann schriftlichen Forscherhinweisen. Bezüglich der von MERRIËNBOER und SWELLER (2005) geforderten Reduktion des *extraneous CLs* erscheint also *structured inquiry* vorteilhaft. Allerdings wird diese Form des Experimentierens kritisiert, da Lerner Schritt-für-Schritt-Anleitungen gedanklich nicht ausreichend nachvollziehen (BAUMANN, 2014) und diese zudem unzureichend für die Entwicklung kritischen und wissenschaftlichen Denkens seien (SADEH & ZION, 2012). Um dies zu untersuchen, erscheint in zukünftigen Studien die zusätzliche Erhebung des *germane CLs*, welcher die kognitive Belastung lernrelevanter mentaler Prozesse beschreibt, sinnvoll (MERRIËNBOER & SWELLER, 2005). Für *guided inquiry* zeigt diese Studie die Vorteile von mündlichen gegenüber schriftlichen Forscherhinweisen.

Für den Unterricht folgt, dass beim Experimentieren zwischen der Forderung nach einem gedanklichen Durchdringen des Experimentierens, wie es eher durch *guided inquiry* sichergestellt werden kann (vgl. HOF, 2011), und einer niedrigeren kognitiven Belastung (*extraneous CL*) abgewogen werden muss. Zudem sind weitere Untersuchungen notwendig, die den Zusammenhang von *extraneous CL*, *germane CL*, den Grad der Anleitung und weitere Lernvariablen (wie z.B. Wissenszuwachs, Verständnis des naturwissenschaftlichen Erkenntnisganges) beim Experimentieren untersuchen.

## Zitierte Literatur

- ARNOLD, J.C. (2015). *Die Wirksamkeit von Lernunterstützungen beim Forschenden Lernen. Eine Interventionsstudie zur Förderung des Wissenschaftlichen Denkens in der gymnasialen Oberstufe*. Logos Verlag, Berlin.
- BAUMANN, S.J. (2014). *Selbstständiges Experimentieren und Konzeptuelles Lernen mit Beispielaufgaben in Biologie*. Logos Verlag, Berlin.
- BELL, R.L., SMETANA, L. & BINNS, I. (2005). Simplifying Inquiry Instruction. Assessing the Inquiry Level of Classroom Activities. *The Science Teacher*, 72 (7), 30-33.
- BÜHNER, M. (2011). *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion, 3., aktualisierte und erweiterte Auflage*. Pearson Studium, München [u.a].
- BRUCKERMANN, T., ARNOLD, J., KREMER, K. & SCHLÜTER, K. (2017). Forschendes Lernen in der Biologie. In: BRUCKERMANN, T. & SCHLÜTER, K. [Hrsg.]: *Forschendes Lernen im Experimentalpraktikum Biologie*. Springer-Verlag, Berlin, 11-26.
- BUCK, L.B., BRETZ, S.L. & TOWNS, M.H. (2008). Characterizing the Level of Inquiry in the Undergraduate Laboratory. *Journal of College Science Teaching*, 38 (1), 52-58.
- COHEN, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Science. Second Edition*. Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, New Jersey.
- DEVELLIS, R. F. (2012). *Scale development* (Applied social research methods series, Bd. 26). Sage, Los Angeles [u.a].
- DI FUCCIA, D.-S. (2013). Offenes Experimentieren in der Chemie. In: BERNHOLT, S. [Hrsg.]: *Inquiry-based Learning – Forschendes Lernen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (Band 33). Jahrestagung in Hannover 2012*. Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik, Kiel, 62-64.
- EMDEN, M. & KOENEN, J. (2016). Hilfekarten als Lernimpulse. In: KOENEN, J., EMDEN, M. & SUMFLETH, E. [Hrsg.]: *Chemieunterricht im Zeichen der Erkenntnisgewinnung*. Waxmann, Münster, 25-31.
- FIELD, A. (2009). *Discovering Statistics Using SPSS (and sex and drugs and rock 'n' roll). Third Edition*. SAGE, London [u.a.].
- FURTAK, E.M., SEIDEL, T., IVERSON, H. & BRIGGS, D.C. (2012). Experimental and Quasi-Experimental Studies of Inquiry-Based Science Teaching. A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 82 (3), 300-329.
- HOF, S. (2011). Wissenschaftsmethodischer Kompetenzerwerb durch Forschendes Lernen. Entwicklung und Evaluation einer Interventionsstudie. Kassel: Kassel University Press.
- HAMMANN, M., & JÖRDENS, J. (2014). Offene Aufgaben codieren. In KRÜGER, D., PARCHMANN, I. & SCHECKER, H. [Hrsg.]. *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg, 169-178.
- HOFSTEIN, A. & LUNETTA, V. N. (2004). The laboratory in science education. Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88 (1), 28–54.
- KIRSCHNER, P.A., SWELLER, J. UND CLARK, R.E. (2006). Why Minimal Guidance Does Not Work. An Analysis of the Failure of Constructivistic Discovery, Problem-Based, Experimental, and Inquiry-Based Learning. *Educational Psychologist*, 41 (2), 75-86.
- KLEPSCH, M., SCHMIDTZ, F. & SEUFERT, T. (2017). Development and Validation of Two Instruments Measuring Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load. *Frontiers in Psychology*, 8, 1997.
- KOENEN, J. (2016). Gestaltung von Experimentiersituationen – Wahl verschiedener Öffnungsgrade. In: KOENEN, J., EMDEN, M. & SUMFLETH, E. [Hrsg.]: *Chemieunterricht im Zeichen der Erkenntnisgewinnung*. Waxmann, Münster, 19-24.
- KULTUSMINISTERKONFERENZ (KMK, 2005). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss*. Luchterhand, München, Neuwied.
- LAZONDER, A.W. & HARMSSEN, R. (2016). Meta-Analysis of Inquiry-Based Learning. Effects of Guidance. *Review of Educational Research*, 86, 681-718.
- MAYER, R.E. (2004). Should There Be a Three-Strikes Rule Against Pure Discovery Learning? The Case for Guided Methods of Instruction. *American Psychologist*, 59, 14-19.

- MAYER, J. & ZIEMEK, H.-P. (2006). Offenes Experimentieren. Forschendes Lernen im Biologieunterricht. *Unterricht Biologie*, 317, 4-12.
- MERRIËNBOER, J.J.G. & SWELLER, J. (2005). Cognitive Load Theory and Complex Learning. Recent Developments and Future Directions. *Educational Psychology Review*, 17 (2), 147-177.
- MOOSBRUGGER, H. & KELAVA, A. (2012). *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion, 2., aktualisierte und überarbeitete Auflage*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996). *National Science Education Standards*. National Academy Press, Washington, DC.
- REITINGER, J. (2013). *Forschendes Lernen. Theorie, Evaluation und Praxis in naturwissenschaftlichen Lernarrangements*. Prolog-Verlag, Immenhausen bei Kassel.
- RENKL, A. (2009). Wissenserwerb. In: E. WILD & J. MÖLLER (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie*. Springer, Berlin, 3-26.
- REY, G.D. & NIEDING, G. (2010). Arbeitsgedächtnis und Cognitive Load. In: TROLLDENIER, H.-P., LENHARD, W. & MARX, P. [Hrsg.]: *Brennpunkte der Gedächtnisforschung. Entwicklungs- und pädagogisch-psychologische Perspektiven*. Hogrefe, Göttingen, 67-85.
- SADEH, I. & ZION, M. (2012). Which Type of Inquiry Project Do High School Biology Students Prefer. Open or Guided? *Research in Science Education*, 42, 831-848.
- SCHMIDT, S. (2014). *Inquiry-basiertes Lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht – Auswirkungen auf Motivation und langfristigen Wissensaufbau*. Fakultät Biologie, Chemie und Geowissenschaften an der Universität Bayreuth, Bayreuth.
- UNTERBRUNER, U. (2007). Multimedia-Lernen und Cognitive Load. In: KRÜGER, D. & VOGT, H. [Hrsg.]: *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 153-175.
- WIRTZ, M. & Caspar, F. (2002). *Beurteilerübereinstimmung und Beurteilerreliabilität*. Hogrefe, Göttingen.