

Julia Arnold¹, Kerstin Kremer¹, Jürgen Mayer²

¹Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik an der Universität Kiel (IPN), ²Universität Kassel

***Concept Cartoons* als diskursiv-reflexive Szenarien zur Aktivierung des Methodenwissens beim Forschenden Lernen**

***Concept Cartoons* as Discursive-Reflective Scenarios for Activating Procedural Understanding in Inquiry Learning**

Der Erwerb von Kompetenzen naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung und des wissenschaftlichen Denkens ist ein zentrales Bildungsziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts. Zur Förderung wird das Forschende Lernen empfohlen, jedoch bedarf dieses Unterrichtsprinzip der adäquaten Unterstützung durch die Lehrkraft. In diesem Beitrag wird eine Studie zur Überprüfung der Wirksamkeit von diskursiv-reflexiven Szenarien (*Concept Cartoons*) im Rahmen des Forschenden Lernens vorgestellt. Es zeigt sich, dass das Forschende Lernen mit *Concept Cartoons* im Vergleich zu einer Vergleichsgruppe ohne diese Lernunterstützung zu größeren Lernzuwächsen im wissenschaftlichen Denken, dem Methodenwissen und dem Fachwissen führt. Außerdem kann die kognitive Belastung durch Verwendung der *Concept Cartoons* reduziert werden.

Schlüsselwörter: Concept Cartoons, Experimentieren, Forschendes Lernen, Lernunterstützung

The acquisition of inquiry skills and scientific thinking is a central goal of science education. Inquiry learning here is a recommended teaching method, but it requires adequate support by the teacher. This paper presents a study to investigate the effectiveness of discursive-reflective scenarios (*Concept Cartoons*) in inquiry learning. It turns out that inquiry learning supported by Concept Cartoons leads to greater learning gains in scientific thinking, methodological knowledge (procedural understanding) and content knowledge as compared to a control group without learning support. In addition, the cognitive load could be reduced by using the Concept Cartoons.

Keywords: Concept Cartoons, experiments, inquiry learning, scaffolds

1 Einleitung

Sogenannte „Kochrezepte“ sind beim Experimentieren weit verbreitet. Sie sind jedoch ungeeignet, wenn es um die Förderung von Kompetenzen des wissenschaftlichen Denkens geht (Arnold, Kremer & Mayer, 2014a). Ein Grund dafür ist, dass die Lernenden unreflektiert und ohne das entsprechende Methodenwissen die einzelnen Schritte der Anleitung befolgen. Es fehlt die kognitive Aktivierung, die erst zu einem tieferen Verständnis der Forschungstätigkeit beiträgt. Daher wird das Forschende Lernen als Methode zur Förderung von Kompetenzen der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung empfohlen. Jedoch sollte diese selbständige Arbeitsform durch entsprechende Unterstützungen von Seiten der Lehrperson ergänzt werden (Arnold, Kremer & Mayer, 2014b; Hmelo-Silver, Duncan & Chinn, 2007). *Concept Cartoons* als diskursiv-reflexive Szenarien wurden bisher in der Literatur vor allem zur Reflexion und Förderung von Fachwissen eingesetzt. Die Verwendung im Rahmen des Forschenden Lernens zur Festigung und Unterstützung des Erwerbs von Methodenwissen beim Experimentieren wird hier erstmals vorgestellt. Es zeigt sich, dass durch die Cartoons einerseits sinnvolle Diskussionen angeregt werden können und andererseits die Bearbeitung von *Concept Cartoons* im Rahmen des Forschenden Lernens zu höheren Lernzuwächsen führen kann.

2 Wissenschaftliches Denken und Forschendes Lernen

Die Fähigkeit, wissenschaftliche Untersuchungen zu verstehen, durchzuführen und kritisch zu reflektieren ist Bestandteil der naturwissenschaftlichen Grundbildung (*Scientific Literacy*; KMK, 2005; Mayer, 2007). Sie kann als Problemlöseprozess beschrieben werden und wird sowohl durch prozedurales Wissen als auch durch deklaratives Wissen und allgemeine kognitive Fähigkeiten bedingt (Mayer, 2007). Prozedurales Wissen umfasst hierbei das Wissen, *wie* vorzugehen ist (bspw. wie ein Experiment geplant wird). Auf kognitiver Ebene wird das wissenschaftliche Denken beeinflusst durch das Fachwissen, das den Hintergrund der Untersuchung bildet. Im Zentrum dieses Beitrags steht das Methodenwissen als weiterer deklarativer Bedingungsfaktor wissenschaftlichen Denkens. Hierbei handelt es sich um das Wissen, *warum* im Rahmen einer wissenschaftlichen Untersuchung etwas getan wird (Roberts, 2001). Dies bedeutet bspw. zu wissen, warum überhaupt eine Hypothese aufgestellt werden sollte, bevor man das Experiment durchführt, oder warum ein Experiment geplant werden sollte (Arnold, 2015; Völzke, Arnold & Kremer, 2013; Gott & Roberts, 2008). Hierfür können u. a. die Gütekriterien wissenschaftlichen Arbeitens (Objektivität, Reliabilität und Validität) als Begründung herangezogen werden (Gott & Roberts, 2008).

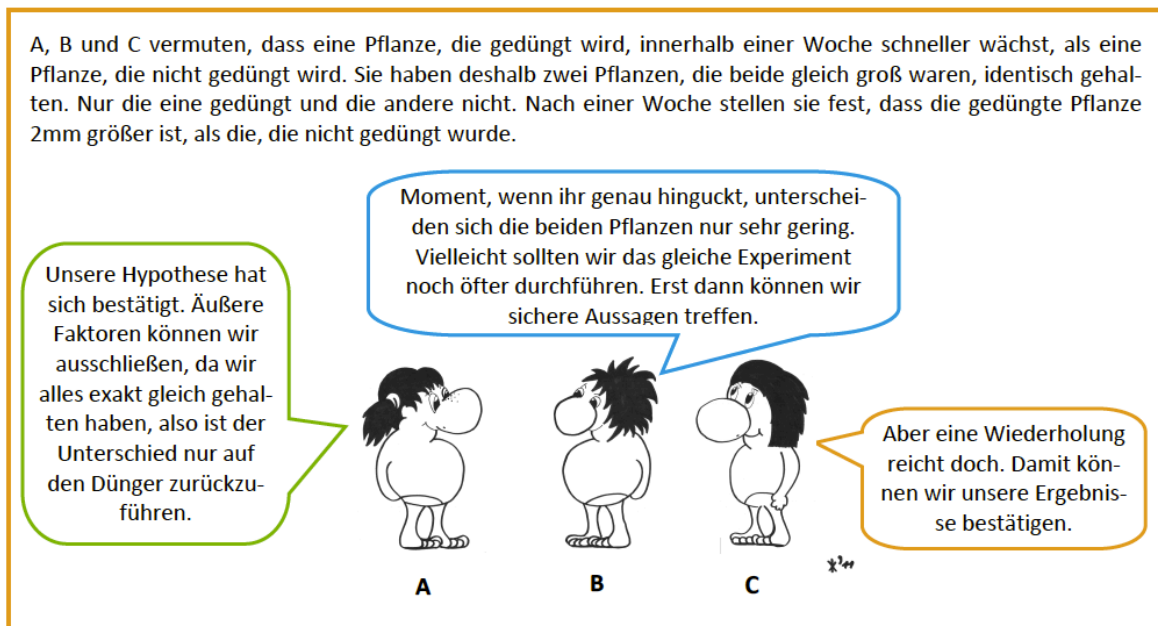
Im Bereich des wissenschaftlichen Denkens wurde deutschen Schülerinnen und Schülern lange Förderbedarf attestiert (Mayer, 2004). Zur entsprechenden Förderung wird die Methode des Forschenden Lernens empfohlen, bei der die Lernenden selbständig Hypothesen generieren, Untersuchungen planen, durchführen und auswerten (Mayer & Ziemek, 2006). Trotz der Betonung des selbständigen Arbeitens, sind Lernunterstützungen seitens der Lehrperson wichtig, um einerseits die kognitive Aktivierung sowie die Reduktion einer kognitiven Überlastung andererseits zu gewährleisten und schließlich den Förderbedarf zu diagnostizieren (Arnold et al., 2014a; Arnold, 2015).

3 Concept Cartoons als Lernunterstützungen (Scaffolds) beim Forschenden Lernen

Lernunterstützungen, im engeren Sinne *Scaffolds*, können verglichen werden mit einem Gerüst (Puntambekar & Hübscher, 2005). *Scaffolds* unterstützen Personen beim Lösen einer Aufgabe, die sie ohne diese Unterstützung nicht zu lösen in der Lage wären. Saye und Brush (2002) zufolge können zwei Arten von *Scaffolds* unterschieden werden. (1) Als *soft scaffolds* werden dynamische und situative Unterstützungsmaßnahmen der Lehrkräfte beschrieben. Dies verlangt auf Seiten der Lehrkraft viel Aufmerksamkeit und situative Diagnostik von Verständnisproblemen der Lernenden und entsprechende Gabe von Hilfestellungen. Tätigkeiten, die v.a. Berufsanfängern aufgrund geringer Erfahrung meist schwer fallen (Furtak, 2006). (2) *Hard scaffolds* sind dementsprechend statische Unterstützungen (materialgesteuert), die typische Schülerprobleme antizipieren und vorbereitet werden können. Hier können bei der Gestaltung empirische Forschungsergebnisse einfließen, wodurch Lehrkräfte bei der Unterrichtsgestaltung unterstützt werden. In diesem Beitrag wird das Format der *Concept Cartoons* (Keogh, 1999) als Lernunterstützung im Rahmen des Forschendes Lernens als *hard scaffold* vorgestellt. *Concept Cartoons* sind Diskussionsanregungen und können bspw. für Gruppendiskussionen zur Erarbeitung oder als Unterrichtseinstieg zur Problematisierung eingesetzt werden. Sie sind zur (co-)konstruktivistischen Erarbeitung von fachlichen Inhalten bereits im regen Einsatz und es konnte gezeigt werden, dass sie sich eignen, verstehendes Lernen zu initiieren (siehe bspw. Steininger & Lembens, 2013; Barke, Endida & Yitbarek, o.J.). Wenn man davon ausgeht, dass beim Forschenden Lernen auch konzeptuelles Wissen zur naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung (Methodenwissen) erworben werden soll, so bieten sich in diesem Zusammenhang *Concept Cartoons* genauso an, über Schülervorstellungen zum Methodenwissen in die Diskussion einzutreten und alternative Betrachtungen explizit und aktiv argumentativ abzuwägen. Bislang fehlen jedoch theoriebasierte Förderkonzepte, durch die *Concept Cartoons* als Lernunterstützungen im Forschenden Lernen einsetzbar werden und empirische Untersuchungen über die Wirksamkeit solcher Formate. In diesem Beitrag werden *Concept Cartoons* exemplarisch vorgestellt, um Reflexionen über den Forschungsprozess und seine einzelnen Schritte zu initiieren und so die kognitive Belastung der Schülerinnen und Schüler beim Forschenden Lernen zu reduzieren und eine kognitive Aktivierung zu erwirken. Der Beitrag stellt ferner eine Begleitstudie zum Einsatz von *Concept Cartoons* in einer Lernsequenz zum Forschenden Lernen vor. Die vollständige Dokumentation der untersuchten *Concept Cartoons* kann bei Arnold (2015) gefunden werden.

Zwei Fragen stehen im Zentrum dieser Studie:

- (1) Wie begründen Lernende die einzelnen Schritte eines hypothetiko-deduktiven Erkenntnisprozesses bei der Bearbeitung ausgewählter *Concept Cartoons* zum Erkenntnisprozess?
- (2) Wie wirkt sich die Bearbeitung von *Concept Cartoons* im Prozess des Forschenden Lernens auf den Erwerb von Kompetenzen des wissenschaftlichen Denkens, den Erwerb von Methodenwissen und Fachwissen sowie auf die kognitive Belastung aus?



Cartoon 3: Warum sollte man Experimente wiederholen?

Beantwortet die Frage, indem ihr die Aussagen diskutiert. Bezieht dazu die Gütekriterien wissenschaftlichen Arbeitens ein. Begründet eure Antwort. Geht dazu so vor:

1. Jeder in der Gruppe sagt seine Meinung.
2. Ihr diskutiert über die unterschiedlichen Meinungen.
3. Ihr schreibt euren Konsens auf.



Grid area for student answers.

Abbildung 2: Concept Cartoon "Warum sollte man Experimente wiederholen?" (Arnold, 2015).

Tabelle 1: Überblick über die Fragen der Concept Cartoons.

Wozu braucht man eine Hypothese?

Warum sollte man ein Experiment planen?

Warum sollte die Art und die Zeit der Messung der abhängigen Variable gut überlegt sein?

Warum sollte die Variation der unabhängigen Variablen gut überlegt sein?

Warum sollte man Daten beschreiben?

Warum sollte die Sicherheit der Interpretation diskutiert werden?

Wozu braucht man alternative Hypothesen?

Warum sollten Störvariablen kontrolliert werden?

Warum sollte man Experimente wiederholen?

Warum sollte man das Vorgehen beim Experiment diskutieren?

Vor und nach der Unterrichtseinheit bearbeiteten alle Lernenden Tests zum wissenschaftlichen Denken, Methodenwissen und Fachwissen. Der Test zum wissenschaftlichen Denken bestand aus sechs offenen Items mit jeweils zwei Aufgaben zu den Teilkompetenzen „Hypothese“, „Planung“ und „Daten“. Die Auswertungsobjektivität dieses Tests wurde durch teilweise Doppelcodierung gesichert (Cohens κ : .89-.94 je nach Teilkompetenz). Die Tests zum Methodenwissen und Fachwissen waren jeweils in Multiple-Choice-Items abgefasst. Zusätzlich wurde jeweils nach der Bearbeitung der einzelnen Forscherhefte die empfundene kognitive Belastung mittels einer Likert-Skala erfragt.

5 Datenanalyse

Zur Beantwortung der Forschungsfragen dieser Studie wurden erstens die Schülerantworten zu den *Concept Cartoons* analysiert. Dazu wurden diese in einzelne Aussagen gegliedert und induktiv ein Kategorieschema mit Subkategorien erstellt (ein beispielhaftes Codierschema für den *Concept Cartoon* „Warum sollte man Experimente wiederholen?“ ist in Tabelle 2 dargestellt). Diese Subkategorien wurden dann deduktiv den Begründungskategorien „Validität“, „Objektivität“ und „Reliabilität“ zugeordnet. Aussagen, die keinen direkten Bezug zu den Gütekriterien erkennen ließen, wurden der Kategorie „Allgemein“ zugeordnet. Die Schüleraussagen wurden anschließend von zwei unabhängigen Codierern gemäß eines Codierschemas den (Sub)Kategorien zugeordnet ($.55 < \kappa < .86$).

Tabelle 2: Kategorien und Schüleraussagen zum Cartoon „Warum sollte man Experimente wiederholen?“ (Arnold, 2015).

Kategorie	Subkategorie
	Experimente sollten wiederholt werden, ...
Validität	... um die Ergebnisse zu prüfen / zu bestätigen / um Sicherheit / Gültigkeit / Aussagekraft des Experiments zu erhöhen ... um Störvariablen / äußere Faktoren ausschließen zu können
Objektivität	... um die Replizierbarkeit zu prüfen / sicher zu stellen
Reliabilität	... um die Messgenauigkeit zu erhöhen / Messfehler auszubessern / um Durchschnittswerte zu ermitteln ... um ein präziseres Vorgehen durch Übung zu erreichen
Allgemein	... um Fehler ausschließen / identifizieren zu können ... um Zufallsergebnisse ausschließen zu können ... um Veränderungen / Unterschiede / Ausnahmen identifizieren zu können

Zweitens wurden Treatment- und Vergleichsgruppe hinsichtlich ihres Lernzuwachses in den abhängigen Variablen wissenschaftliches Denken, Methodenwissen und Fachwissen sowie kognitive Belastung verglichen. Die Datenanalyse erfolgte mittels Rasch-Skalierung mit dem Programm Winsteps (Linacre, 2011) und Mittelwertvergleichen (*t*-Tests für unabhängige Stichproben) mit dem Programm SPSS. Die verwendeten Tests zeigten mit $\alpha = .75$ im

wissenschaftlichen Denken, $\alpha = .54$ im Methodenwissen und $\alpha = .61$ im Fachwissen zufriedenstellende Reliabilitäten. Die MNSQ-Werte lagen ebenfalls im produktiven Bereich ($.62 < \text{MNSQ} < 1.66$).

6 Ergebnisse

Die Ergebnisse zur Frage 1, wie Lernende die einzelnen Schritte des Erkenntnisprozesses bei der Bearbeitung der *Concept Cartoons* begründen, werden im Folgenden exemplarisch an zwei Cartoons vorgestellt. Zum *Concept Cartoon* „Warum sollte man Experimente wiederholen?“ (Abbildung 2) bezogen sich ca. 52% der Schülersaussagen auf das Gütekriterium „Validität“. Sie begründeten die Wiederholung damit, dass sie dazu diene, die Ergebnisse zu prüfen oder zu bestätigen und um die Sicherheit, Gültigkeit bzw. Aussagekraft des Experiments zu erhöhen oder dazu, dass Störvariablen ausgeschlossen werden können. Insgesamt knapp 13% der Schülersaussagen nahmen Bezug auf das Gütekriterium „Reliabilität“ und begründeten die Wiederholung damit, dass so die Messgenauigkeit erhöht bzw. Messfehler identifiziert werden können. Mit der Prüfung der Replizierbarkeit begründen ca. 2% der Aussagen die Wiederholung und nahmen damit Bezug auf das Gütekriterium „Objektivität“. Ca. 29% der Schülersaussagen hatten bei der Begründung für die Wiederholung keinen (indirekten) Bezug zu den Gütekriterien.

Zum zweiten Cartoon mit der Frage „Warum sollte man Experimente planen?“ bezogen sich 21% der Aussagen auf die Validität des Experiments und gaben an, dass die Planung dazu diene, Störvariablen oder äußere Einflüsse zu berücksichtigen oder um sicher zu stellen, dass das untersucht wird, was untersucht werden soll. Auf die intersubjektive Nachvollziehbarkeit und somit auf die Objektivität nahmen 13% der Begründungen Bezug. Fünf Prozent der Aussagen bezogen sich auf die Reliabilität, indem angegeben wurde, dass die Planung dazu dient eine genaue Messung zu sichern. 61% der Schülersaussagen hingegen sind der Kategorie „Allgemein“ zuzuordnen. Hier nahmen die Lernenden keinen konkreten Bezug zu den Gütekriterien und begründeten die Planung überwiegend mit praktischen Bezügen, wie bspw. um Fehler zu vermeiden und Übersichtlichkeit herzustellen.

Über alle Cartoons hinweg wiesen die Aussagen der Lernenden in durchschnittlich 64,05% einen erkennbaren Bezug zu den Gütekriterien wissenschaftlichen Arbeitens auf.

Der Vergleich der Lernzuwächse in den abhängigen Variablen wissenschaftliches Denken, Methodenwissen und Fachwissen (Abbildung 3) zeigt, dass die Treatmentgruppe, die zusätzlich *Concept Cartoons* bearbeitete, in allen drei Bereichen größere Lernzuwächse erzielte. Es zeigt sich also, dass die Bearbeitung der *Concept Cartoons* im Vergleich zur Vergleichsgruppe (trotz gleicher Bearbeitungszeit) die Lernzuwächse im wissenschaftlichen Denken, dem Methodenwissen und dem Fachwissen erhöhen kann.

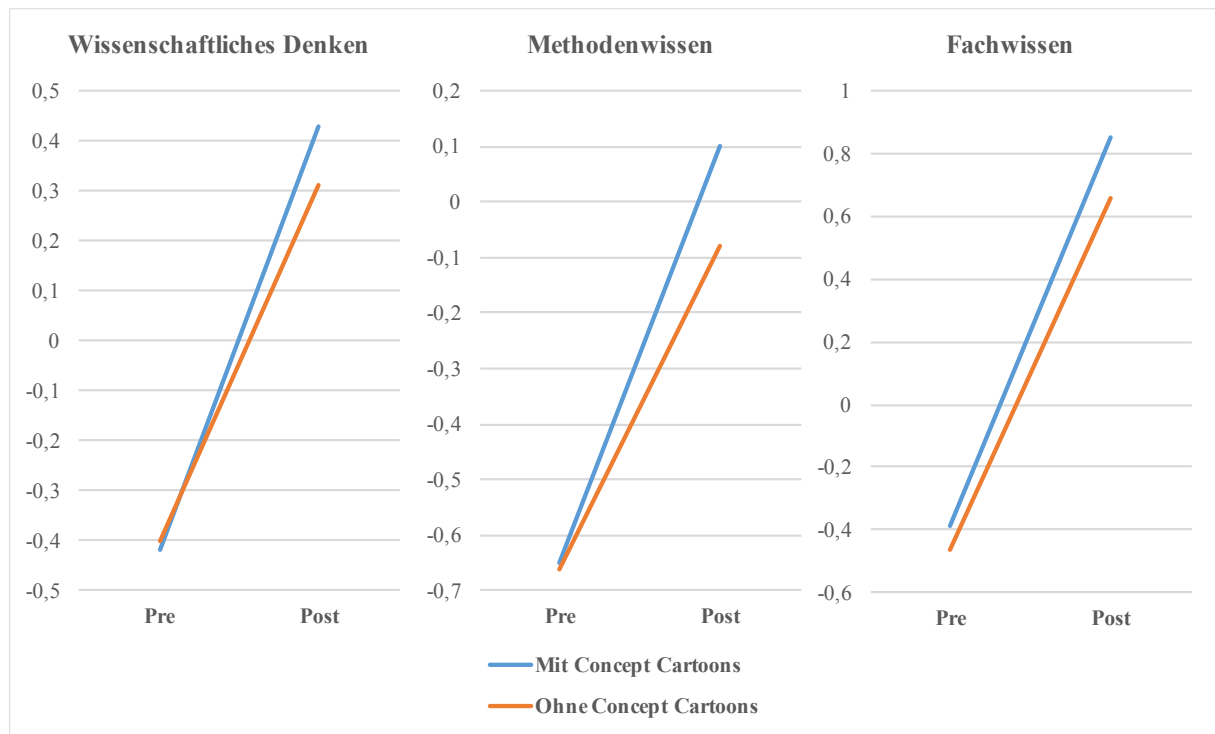


Abbildung 3: Lernzuwächse (von Pre- nach Post-Test) im wissenschaftlichen Denken, Methodenwissen und Fachwissen mit und ohne Bearbeitung von Concept Cartoons.

In Tabelle 3 sind die jeweiligen Mittelwerte der Testleistungen (Pre und Post) in den verschiedenen Tests für die Treatment- und Vergleichsgruppe dargestellt. Es zeigt sich, dass sich die Post-Testleistungen in allen Fällen signifikant ($p \leq .001$) von den Pre-Testleistungen unterscheiden. Jedoch sind die Unterschiede und damit auch die Effektstärken jeweils bei der Gruppe, die *Concept Cartoons* nutzte, größer.

Tabelle 3: Vergleich der Testleistungen: t-Test für abhängige Stichproben.

Test	Gruppe	N	Pre-Test		Post-Test		t	df	d
			M	SD	M	SD			
Wissenschaftliches Denken	TG: <i>Concept Cartoons</i>	46	-.42	.44	.43	.50	10.61*	45	3.16
	VG: Vergleichsgruppe	52	-.40	.54	.31	.53	9.97*	51	2.79
Methodenwissen	TG: <i>Concept Cartoons</i>	47	-.65	.97	.10	.81	4.97*	46	1.47
	VG: Vergleichsgruppe	53	-.66	.73	-.08	.97	3.85*	52	1.07
Fachwissen	TG: <i>Concept Cartoons</i>	47	-.39	.96	.85	1.02	6.85* ¹	46	2.02
	VG: Vergleichsgruppe	53	-.46	.96	.66	.84	6.67*	52	1.85

Anmerkung: * $p \leq .001$.

¹ In der Treatmentgruppe *Concept Cartoons* war die Normalverteilung der Pre-Post-Differenz, die eine Voraussetzung für den t-Test ist, nicht gegeben. Daher wurde die Signifikanz des t-Tests für diese Gruppe mittels Bootstrapping-Verfahren (BCa 95% CI[-1.62, -.88]) berechnet.

Darüber hinaus berichtet die Treatmentgruppe zudem geringere kognitive Belastungen als die Vergleichsgruppe (Abbildung 4). Hier zeigt der Mittelwertvergleich, dass der Unterschied zwischen den Gruppen statistisch signifikant ist ($t_{(103)} = 4.24$, $p \leq .001$). Die Effektstärke dieses Unterschieds ist mit $d = .83$ als groß zu bezeichnen.

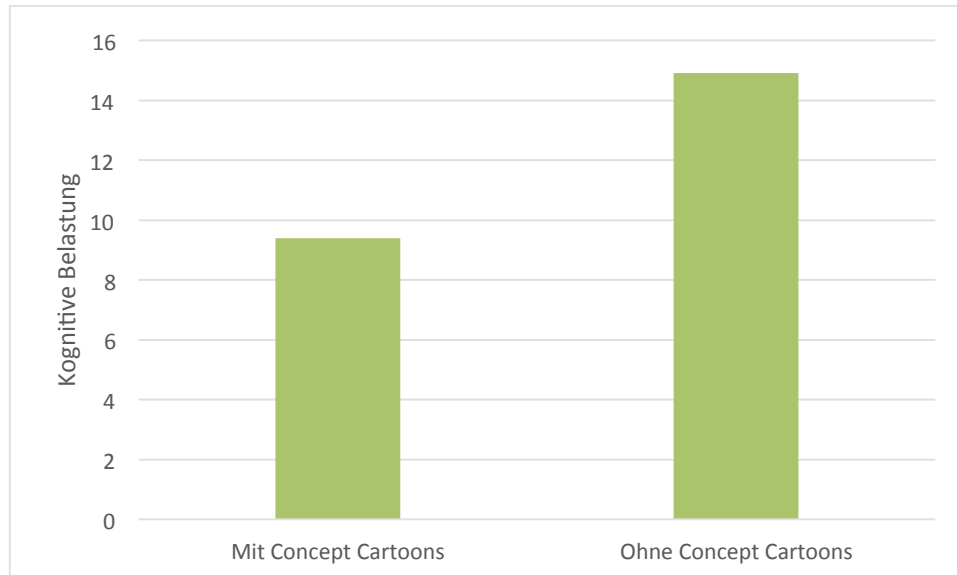


Abbildung 4: Empfundene kognitive Belastung mit und ohne Bearbeitung von *Concept Cartoons*.

7 Diskussion

In Bezug auf die Bearbeitungsgüte der *Concept Cartoons* (Forschungsfrage 1) konnte gezeigt werden, dass die *Concept Cartoons* geeignet sind, sinnvolle Diskussionen über die einzelnen Schritte des Experimentierens zu initiieren. Hier erscheint es wichtig, dass die Lernenden stärker auf die Gütekriterien wissenschaftlichen Arbeitens fokussieren und den Sinn einzelner Schritte weniger aus allgemeiner Perspektive, wie bspw. zum Vermeiden von Fehlern oder der besseren Organisation begründen. Daher scheint es empfehlenswert, die Lernenden vor der Bearbeitung der *Concept Cartoons* ausführlicher in die Gütekriterien wissenschaftlichen Arbeitens einzuführen und so die Qualität der Diskussionen zu steigern. Zu Studienzwecken wurde die Bearbeitung der *Concept Cartoons* nicht durch die Lehrkraft gesteuert. Hier ist es denkbar, dass die Diskussion im Lehrer-Schüler-Gespräch oder durch Think-Pair-Share weiter optimiert werden kann.

Zur Forschungsfrage 2, wie sich die Nutzung der *Concept Cartoons* auf die Lernleistung bzw. die kognitive Belastung auswirkt, kann festgehalten werden, dass die Bearbeitung der *Concept Cartoons* zu erhöhten Lernleistungen in den Bereichen wissenschaftliches Denken, Methodenwissen und Fachwissen führte. Dabei ist zu beachten, dass die Bearbeitung der Cartoons lediglich in durchschnittlich 64% der Fälle zu den gewünschten Begründungen für die einzelnen Schritte führte. Es ist zu erwarten, dass die Unterschiede zwischen den Gruppen durch Optimierung der Bearbeitung vergrößert werden können. Die Wirksamkeit kann darauf zurückgeführt werden, dass die Cartoons kognitiv aktivierend wirken, und den Lernenden deutlich wird, warum sie die einzelnen Schritte des Experiments durchführen und so die Sinnhaftigkeit der einzelnen Schritte transparent wird (Methodenwissen). Da das Methodenwissen als Bedingungsfaktor wissenschaftlichen Denkens gilt, ist so der indirekte Lernzuwachs des wissenschaftlichen Denkens zu erklären. Wünschenswert wäre an dieser Stelle, die Ergebnisse aus den Leistungstests mit der Bearbeitungsgüte der *Concept Cartoons*

zu korrelieren, um die Zusammenhänge genauer analysieren zu können. Dies ist jedoch nicht möglich, da die Cartoons in Gruppenarbeiten bearbeitet und diskutiert wurden. Hier wären künftig weitere Analysen nötig, bspw. unter Zuhilfenahme der Videographie.

Außerdem ist festzuhalten, dass die *Concept Cartoons* die kognitive Belastung reduzieren können. Es konnte gezeigt werden, dass die Lernenden – trotz zusätzlicher Materialien – die Bearbeitung der Aufgaben als weniger kognitiv belastend empfanden; d.h. die Aufgaben wurden so subjektiv vereinfacht und es stand mehr Aufmerksamkeit für die Konstruktion von Wissen zur Verfügung. Durch die reduzierte kognitive Belastung ist der erhöhte Lernzuwachs im Fachwissen zu erklären, da hierfür Kapazitäten frei wurden.

Für den Biologie-Unterricht lässt sich daher festhalten, dass die Verwendung von *Concept Cartoons*, die im Rahmen des Forschenden Lernens eine tiefgehende Auseinandersetzung mit den Gründen für einzelne Schritte des Erkenntnisprozesses initiieren, durchaus lernförderlich sein kann.

Dank

Die Autoren bedanken sich herzlich bei den kooperierenden Lehrerinnen und Lehrern sowie den mitwirkenden Schülerinnen und Schülern der Herderschule in Kassel sowie bei Johanna Belz für das Transkribieren, bei Sebastian Jäger für die Gegencodierung und bei Dr. Kathrin Ziepprecht für das Zeichnen der Cartoons.

Literatur

- Arnold, J. (2015). *Die Wirksamkeit von Lernunterstützungen beim Forschenden Lernen: Eine Interventionsstudie zur Förderung des Wissenschaftlichen Denkens in der gymnasialen Oberstufe*. Berlin: Logos.
- Arnold, J., & Kremer, K. (2012). Lipase in Milchprodukten – Schüler erforschen die Temperaturabhängigkeit von Enzymen. *Praxis der Naturwissenschaften – Biologie in der Schule*, 61(7), 15-20.
- Arnold, J., Kremer, K., & Mayer, J. (2014a). Understanding Students' Experiments—What kind of support do they need in inquiry tasks? *International Journal of Science Education*, 2719-2749.
- Arnold, J., Kremer, K., & Mayer, J. (2014b). Schüler als Forscher – Experimentieren kompetenzorientiert unterrichten und beurteilen. *Mathematisch und naturwissenschaftlicher Unterricht (MNU)*, 67(2), 83-91.
- Barke, H.-D., Engida, T., & Yitbarek, S. (o.J.). *Concept Cartoons: Diagnose, Korrektur und Prävention von Fehlvorstellungen im Chemieunterricht*. https://www.uni-muenster.de/imperia/md/content/didaktik_der_chemie/concept_cartoons_in_deutsch.pdf.
- Furtak, E. M. (2006). The problem with answers: An exploration of guided scientific inquiry teaching. *Science Education*, 90(3), 453-467.
- Gott, R., & Roberts, R. (2008). *Concepts of evidence and their role in open-ended practical investigations and scientific literacy; background to published papers*. Verfügbar unter: https://www.dur.ac.uk/resources/education/research/res_rep_short_master_final.pdf.

- Hmelo-Silver, C. E., Duncan, R. G., & Chinn, C. A. (2007). Scaffolding and Achievement in Problem-Based and Inquiry Learning: A Response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational Psychologist*, 42(2), 99-107.
- KMK / Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (2005). *Beschlüsse der Kultusministerkonferenz - Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004*. München: Luchterhand.
- Lembens, A., & Steininger, R. (2012). Verstehendes Lernen durch Concept Cartoons. In S. Bernholt (Hrsg.), *Konzepte fachdidaktischer Strukturierung für den Unterricht* (S. 352-354). Münster: Lit-Verlag.
- Linacre, J. M. (2011). *Winsteps® Rasch measurement computer program User's Guide*. Beaverton, Oregon: Winsteps.com.
- Mayer, J. (2004). Qualitätsentwicklung im Biologieunterricht. *Mathematischer und Naturwissenschaftlicher Unterricht*, 57(2), 92-99.
- Mayer, J. (2007). Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (S. 177-186). Berlin: Springer.
- Mayer, J., & Ziemek, H.-P. (2006). Offenes Experimentieren. Forschendes Lernen im Biologieunterricht. *Unterricht Biologie*, 317, 4-12.
- Puntambekar, S., & Hübscher, R. (2005). Tools for Scaffolding Students in a Complex Learning Environment: What Have We Gained and What Have We Missed? *Educational Psychologist*, 40(1), 1-12.
- Roberts, R. (2001). Procedural understanding in biology: the thinking behind the doing. *Journal of Biological Education*, 35(3), 113-117.
- Saye, J., & Brush, T. (2002). Scaffolding critical reasoning about history and social issues in multimedia-supported learning environments. *Educational Technology Research and Development*, 50(3), 77-96.
- Völzke, K., Arnold, J., & Kremer, K. (2013). Schüler planen und beurteilen ein Experiment – Denken und Verstehen beim naturwissenschaftlichen Problemlösen. *Zeitschrift für interpretative Schul- und Unterrichtsforschung (ZISU)*, 2(1), 58-86.

Kontakt

Julia Arnold

Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik an der
Universität Kiel (IPN), Didaktik der Biologie

Olshausenstraße 62

24118 Kiel

arnold@ipn.uni-kiel.de