

Wissenschaftliches Denken und Argumentieren

Frank Fischer

Wissenschaftliches Denken und Argumentieren (WDA) werden als Schlüsselfähigkeiten in der Wissensgesellschaft bezeichnet (z.B. Zimmerman, 2007). Kompetenzen zum wissenschaftlichen Denken und Argumentieren gelten als Voraussetzung für die aktive Partizipation an der Wissensgesellschaft und werden daher zunehmend als Ziel von Bildungs- und Fördermaßnahmen betrachtet. Zur Entwicklung entsprechender Förderansätze sind Wissen über die Struktur und Allgemeinheit der Kompetenzen im wissenschaftlichen Denken und Argumentieren, sowie deren Zustandekommen und Bedingungen unabdingbar. Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse kann die Entwicklung und Anpassung von entsprechenden Curricula in Schule und Universität vorangetrieben werden, um diese Kompetenzen gezielt zu fördern. In der Arbeitsgruppe des Antragstellers und im Rahmen des vom Bayerischen Elitenetzwerk geförderten REASON Kollegs wurden bereits Vorarbeiten zu diesen Themen geleistet (siehe u.a. Fischer et al., 2014), die im Rahmen der CAS-Förderung ausgearbeitet und vertieft werden.

Stand der Forschung

Das Phänomen des wissenschaftlichen Denkens und Argumentierens wird in den Learning Sciences aus drei unterschiedlichen Perspektiven betrachtet. (1) Ein zentraler Forschungsansatz setzt beim Prozess der wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung – *scientific discovery* – an (z.B. Lawson, 1995). Wissenschaftliches Denken wird typischerweise als Spezialfall des Problemlösens betrachtet (Klahr & Dunbar, 1988). Bislang liegen empirische Befunde vor allem in Bezug auf das Hypothesengenerieren und Experimentieren vor. Die am besten untersuchte Gruppe ist die der Grundschul-

kinder. Dabei zeigte sich, dass Kinder wie auch Erwachsene teilweise erhebliche Schwierigkeiten mit dem wissenschaftlichen Denken haben (z.B. Koerber et al., 2011; Zimmerman, 2007). Es liegen aber auch erste Hinweise vor, dass die Aktivitäten zur Wissensgenerierung in Interventionsstudien effektiv gefördert werden können (vgl. Klahr, Zimmerman, & Jirout, 2011). (2) Ein anderer wichtiger Zugang ist der des wissenschaftlichen Argumentierens – *scientific argumentation*. In diesem Forschungszweig stehen externalisierter Prozess bzw. Produkte wissenschaftlichen Denkens in sozialen Kontexten wie etwa dem naturwissenschaftlichen Unterricht im Mittelpunkt (z.B. Osborne, 2010). Empirische Studien erbrachten Hinweise auf besondere Schwierigkeiten, die Schüler und Studierende mit der argumentativen Verwendung von Evidenz (z.B. McNeill, 2011) und genereller mit Begründungen (z.B. Kollar, Fischer & Slotta, 2007) und inhaltlicher Qualität von Argumenten (e.g., Kelly & Takao, 2002) haben. In sozialdiskursiven Situationen zeigen Lernende besondere Schwierigkeiten darin, kontrastierende argumentative Positionen zu erkennen (Sadler, 2004), Gegenargumente zu formulieren, die die Position eines Lernpartners herausfordern würden (z.B. Weinberger, Stegmann, & Fischer, 2010) und verschiedene argumentative Perspektiven zu integrieren (Noroozi, Weinberger, Biermans, Mulder, & Chizari, 2012). In diesem Bereich wird derzeit eine Vielzahl heterogener Methoden aber kaum standardisierte Messinstrumente zur Erfassung des Argumentierens eingesetzt. (3) Ein dritter bedeutender Forschungszugang – *understanding of the nature of science* – macht Wissen und Grundverständnis der grundlegenden Prinzipien von Wissenschaft zum zentralen Ausgangspunkt (Gieryn, 1979). In diesem Forschungsbereich wird in erster Linie die grundsätzliche

Bedeutung für (Lern-)Leistungen in naturwissenschaftlichen Fächern betont (Lederman et al., 2002). Im Unterschied zu den beiden zuvor ausgeführten Forschungsschwerpunkten existieren hier Standardmessinstrumente, die in vielen empirischen Studien eingesetzt und validiert wurden (Hofer, 2000; Stahl & Bromme, 2007; Lederman et al., 2002). Interessant ist, dass in Interventionsstudien oft geringe oder gar keine Effekte nachgewiesen werden können (z.B. Salter & Atkins, 2014). Ursachen für das Ausbleiben der Effekte werden derzeit in erster Linie in der mangelnden Konstruktvalidität gesucht (Lederman & Lederman, 2014; Sandoval, 2003).

Insgesamt wird mit Blick auf das wissenschaftliche Denken und Argumentieren in der empirischen Forschung im Bildungskontext mit dem Hypothesengenerieren, Experimentieren und Argumentieren bislang nur ein schmaler Ausschnitt aus der Menge epistemischer Aktivitäten beforscht. Die individuellen Voraussetzungen wissenschaftlichen Denkens und Argumentierens sind bislang nur für Kinder bis zum Ende des Grundschulalters systematisch erforscht. Das Zusammenspiel von Wissen, allgemeinen kognitiven Fähigkeiten und Motivation beim wissenschaftlichen Denken sowie Möglichkeiten zur Kompetenzförderung in späteren schulischen und hochschulischen Bildungsphasen ist kaum systematisch untersucht. In allen drei Forschungsansätzen sind zudem die Untersuchungen meist in spezifischen Domänen eingebettet, ohne dass das Thema der Domänenspezifität explizit adressiert wird. In der Interventionsforschung zu scientific discovery werden Aufgaben in Post-Tests verwendet, die von den Inhalten der Lernsituation mehr oder weniger stark abweichen (z.B. Stark, Puhl & Krause, 2009); von den Lernenden werden also in einigen Fällen kleinere (z.B. Ben-David & Zohar, 2009) in anderen Fällen größere (z.B. Zion, Michalsky & Mevarech, 2005) Transferleistungen verlangt. Wecker und Kollegen (2014) argumentieren, dass unter diesen Umständen

gefundene Effekte von Interventionen durchaus als Hinweis gedeutet werden können, dass eine domänenunspezifische Fähigkeit gefördert wurde. Eine systematische und explizite Erforschung der Frage, welche Komponenten in welchem Ausmaß domänenspezifisch sind, steht jedoch noch aus.

Bezüglich Möglichkeiten zur Förderung des wissenschaftlichen Denkens und Argumentierens ist bislang noch unklar, mit welchen Arten von Interventionen welche Aspekte des wissenschaftlichen Denkens und Argumentierens spezifisch gefördert werden können. Auch besteht Forschungsbedarf bezüglich der Frage, inwieweit Interventionen, die sich in einer Domäne als wirksam erwiesen haben, auf andere Domänen übertragen werden können.

Vor dem Hintergrund des skizzierten Forschungsstandes wurde im REASON Kolleg des Bayerischen Elitenetzwerks eine interdisziplinäre Forschungsagenda unter Beteiligung von Wissenschaftlern aus verschiedenen Naturwissenschaften sowie der Medizin und Psychologie entwickelt, die ihren Fokus auf der Erkenntnisgewinnung zu Bedingungen der Förderung von Kompetenzen des wissenschaftlichen Denkens und Argumentierens (WDA) hat. Im Arbeitsmodell des Kollegs umfassen Kompetenzen zum WDA, die Lernende erwerben können, Wissen und Fertigkeiten, die an acht verschiedenen epistemischen Aktivitäten in drei zu unterscheidenden epistemischen Haltungen beteiligt sind (Fischer, et al., 2014).

Forschungsfragen

Im Rahmen des Researcher-in-Residence Fellowship gemeinsam mit drei Nachwuchswissenschaftlern die folgenden drei spezifischen *Fragestellungen* vertieft bearbeitet werden:

1. Welche Wissensbestände, Fertigkeiten und individuelle Merkmale wie z.B. allgemeine kognitive Fähigkeiten sind zentral für Leistungen beim wissenschaftlichen

Denken und Argumentieren und inwiefern sind diese domänenspezifisch?

2.

Wie können Kompetenzen im wissenschaftlichen Denken und Argumentieren reliabel und valide gemessen werden?

3.

Wie können Kompetenzen im wissenschaftlichen Denken und Argumentieren im Hochschulstudium gefördert werden?

Die Fragestellungen werden in zwei Arbeitsschwerpunkten bearbeitet: Fragestellungen 1 und 2 in Arbeitsschwerpunkt 1 „Kompetenzmodellierung“ und Fragestellung 2 im Arbeitsschwerpunkt 2 „Kompetenzförderung“.

Arbeitsprogramm

Arbeitsschwerpunkt 1: Kompetenzmodellierung und Erfassung von Kompetenzen im wissenschaftlichen Denken und Argumentieren

Den ersten Arbeitsschwerpunkt wird gemeinsam mit den Nachwuchswissenschaftlern die Entwicklung und Ausarbeitung von spezifischen theoretischen Charakterisierungen (Kompetenzmodellierung) der Kompetenzen im wissenschaftlichen Denken und Argumentieren für die Bereiche des wissenschaftlichen Denkens und des evidenzbasierten Argumentierens bilden. In diesem Zusammenhang wird an zwei Instrumenten zur Messung der spezifischen Kompetenzen im wissenschaftlichen Denken (1) und der Kompetenzen zum evidenzbasierten Argumentieren (2) gearbeitet – mit einem besonderen Schwerpunkt auf der Weiterentwicklung und Überprüfung hinsichtlich verschiedener Gütekriterien. Ein zentraler Aspekt der Prüfung wird sich darüber hinaus mit der Domänenspezifität bzw. Domänenunspezifität der Instrumente befassen. Außerdem werden verschiedene Ansätze zur Inhalts-, Konstrukt- und Kriteriumsvalidierung verfolgt.

Ansgar Opitz baut mit seiner Arbeit auf einem Review

der bisher publizierten Tests zum wissenschaftlichen Denken auf und schließt die Überprüfung eines bestehenden Instruments zur Messung grundsätzlicher Aspekte wissenschaftlichen Denkens und Argumentierens an. Das Instrument soll während der Fellowship-Phase in der Physik, der Biologie und der Medizin insbesondere auf Fairness hin überprüft werden. Dabei kommen Methoden der probabilistischen Testtheorie zum Einsatz. Die Arbeit soll als Grundlage zur Entwicklung besserer Testverfahren dienen.

Andreas Hetmanek wird im Rahmen des beantragten Fellowship schwerpunktmäßig mit empirischen Daten aus mehreren Studien seines Promotionsprojekts arbeiten. Diese stammen aus dem Bildungskontext (Lehramtsstudierende und schulische Lehrkräfte) und aus der Medizin (Medizinstudierende und Ärzte in der klinischen Praxis). Er wird dabei bislang noch offenen Fragen im Zusammenhang mit evidenzbasierter Entscheidungsfindung und Argumentation nachgehen. Ein zentrales Ziel ist es, die bereits entwickelten Kompetenzmodelle für das evidenzbasierte Entscheiden und Argumentieren in beiden Feldern sowie die Domänenabhängigkeit der Kompetenzen zu überprüfen. Bei der Auswertung werden u.a. Techniken der Entscheidungsmodellierung (Bayes und Ranking Theory), sowie der systematischen Auswertung von Argumentation angewendet.

Geplante Arbeitsergebnisse

In diesem Schwerpunkt wird vom 6.–8. Juli ein Workshop stattfinden und eine darauf aufbauende internationale Buchpublikation ist ebenfalls geplant. Thematisch wird der Fokus auf der Frage liegen, wie domänenspezifisch bzw. domänenübergreifend verschiedene Aspekte der Kompetenzen im wissenschaftlichen Denken und Argumentieren sind und wie diese bei der Bearbeitung von komplexen Aufgaben zusammenspielen. Dabei wird ein besonderer Fokus auf epistemischen Aktivitäten (u. a. Hypothesen generieren und Evidenz evaluieren) liegen. An den geplanten

Publikationen werden sich zwei internationale Gastwissenschaftler, Clark Chinn (Science Education, Rutgers) und Jonathan Osborne (Science Education, Stanford) beteiligen.

Arbeitsschwerpunkt 2: Ansätze zur Förderung von Kompetenzen im wissenschaftlichen Denken und Argumentieren

Ziel dieses Arbeitsschwerpunkts ist die Analyse möglicher Förderung von wissenschaftlichem Denken und Argumentieren. Der Arbeitsfokus liegt daher auf einem Metaanalyseprojekt, einem zentralen Bestandteil der Dissertation von Katharina Engelmann. Dieses Projekt baut auf einer ersten metaanalytischen Untersuchung von 15 experimentellen Vergleichen auf, die einen großen mittleren Effekt der Interventionen auf das wissenschaftliche Denken zeigen (Engelmann & Fischer, 2014). Die größten Effekte der Intervention traten dann auf, wenn sich die Förderung auf die eigentlichen epistemischen Aktivitäten bezog (z.B. Förderung des Hypothesenbildens oder der Evidenzevaluierens). Geringer waren die Effekte der Maßnahmen, die das Argumentieren oder die Überzeugungen über das Wesen der Wissenschaft (*understanding of the nature of science*) verändern sollten. Entgegen den Erwartungen waren Interventionen dann erfolgreicher, wenn sie die Lernenden in individuelle konstruktive epistemische Aktivitäten involvierten und sie waren weniger erfolgreich, wenn die Lernenden mit anderen gemeinsam agieren sollten. Als besonders erfolgreich zeigte sich beispielsweise eine Studie, in der Strategien zum Generieren von wissenschaftlichen Fragestellungen und Hypothesen gelehrt wurde (Ben-David & Zohar, 2009). Katharina Engelmann arbeitet derzeit an einer weiteren Metaanalyse, die auf den Bereich der Hochschulbildung fokussiert, ein breiteres Spektrum entsprechender empirischer Studien mit einschließt und zusätzlich spezifische Charakteristika der Fördermaßnahmen (Art der Integration der Maßnahme in das Curriculum, Fächerbereich, verschiedene

Unterstützungsmaßnahmen, etc.) analysiert. Während der Förderung im Researcher-in-Residence Fellowship soll diese Metaanalyse abgeschlossen werden. Ergänzend ist die Vorbereitung und Durchführung einer experimentellen Interventionsstudie geplant, die zur Erklärung des unerwartet vorteilhaften Effekts von individuell-konstruktiven epistemische Aktivitäten in der ersten Metaanalyse beitragen soll.

Geplante Arbeitsergebnisse

In diesem Schwerpunkt wird eine internationale Zeitschriftenpublikation der Metaanalyse angestrebt. Einbezogen werden soll Clark Chinn (Rutgers University), der internationale Betreuer von Katharina Engelmann, der von Anfang an in das Promotionsprojekt involviert war. Er soll dazu beitragen, dass der Zeitschriftenartikel zur Metaanalyse bestmöglich publiziert werden kann (z.B. Review of Educational Research). Zudem wird er das Projekt durch innovative methodische Zugänge zur Analyse von wissenschaftlichem Denken anhand des von ihm entwickelten Epistemic Cognition – Ansatzes stärken.

Geplante Maßnahmen zur Dissemination und Verbesserung der Sichtbarkeit – Internationale Webinar-Serie im Netzwerk NAPLeS

Die Arbeitsgruppe des Antragstellers ist Mitinitiatorin und derzeit auch Koordinatorin des institutionellen Network of Academic Programs in the Learning Sciences (NAPLeS) in der International Society of the Learning Sciences. Mitglieder sind neben der LMU derzeit 25 weitere Universitäten, darunter Rutgers, Stanford, Berkeley, University of California at Los Angeles, University of Illinois at Chicago, Carnegie-Mellon-University, University of Nottingham und die Open University of the Netherlands. In diesem Netzwerk wurde ein grundlegendes Online-Curriculum in der Form von Video-Webinaren entwickelt und frei zugänglich gemacht. Derzeit hat die Webinar-Serie etwa 250.000 Zugriffe pro Jahr aus 53 Ländern.

Literaturverzeichnis

- Ben-David, A., & Zohar, A. (2009). Contribution of meta-strategic knowledge to scientific inquiry learning. *International Journal of Science Education*, 31(12), 1657–1682.
- Engelmann, K. & Fischer, F. (2014). Fostering scientific reasoning: A meta-analysis on intervention studies. In J. L. Polman, E. A. Kyza, D. K. O’Neill, I. Tabak, W. R. Penuel, A. S. Jurow, K. O’Connor, T. Lee, and L. D’Amico (Eds.). *Learning and becoming in practice: The International Conference of the Learning Sciences (ICLS) 2014, Volume I* (pp. 246–253). Boulder, CO: International Society of the Learning Sciences.
- Fischer, F., Kollar, I., Ufer, S., Sodian, B., & Hussmann, H. et al. (2014). Scientific Reasoning and Argumentation: Advancing an Interdisciplinary Research Agenda in Education. *Frontline Learning Research*, 5, 28–45.
- Giere, R. N. (1979). *Understanding Scientific Reasoning*. New York, NY: Holt, Rinehart & Winston.
- Hofer, B. K. (2000). On Dimensionality and Disciplinary Differences in Personal Epistemology. *Contemporary Educational Psychology*, 25, 378–405.
- Kelly, G. J., & Takao, A. (2002). Epistemic levels in argument: An analysis of university oceanography students’ use of evidence in writing. *Science Education*, 86, 314–342.
- Klahr, D., & Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive science*, 48, 1–48.
- Klahr, D., Zimmerman, C., & Jirout, J. (2011). Educational Interventions to Advance Children’s Scientific Thinking. *Science*, 333(6045), 971–975.
- Koerber, S., Sodian, B., Kropf, N., Mayer, D., & Schwippert, K. (2011). Die Entwicklung des wissenschaftlichen Denkens im Grundschulalter. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 43(1), 16–21.
- Kollar, I., Fischer, F., & Slotta, J. D. (2007). Internal and external scripts in computer-supported collaborative inquiry learning. *Learning & Instruction*, 17(6), 708–721.
- Lawson, A. E. (1995). *Science teaching and the development of thinking*. Belmont, CA: Wadsworth.
- Lederman, N. G., & Lederman, J. S. (2014). Is Nature of Science Going, Going, Going, Gone? *Journal of Science Teacher Education*, 25(3), 235–238.
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Schwartz, R. S. (2002). Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners’ conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497–521.
- McNeill, K. L. (2011). Elementary students’ views of explanation, argumentation, and evidence, and their abilities to construct arguments over the school year. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(7), 793–823.
- Noroozi, O., Weinberger, A., Biemans, H. J. A., Mulder, M., & Chizari, M. (2012). Argumentation-based computer supported collaborative learning (ABCSCCL): A synthesis of 15 years of research. *Educational Research Review*, 7(2), 79–106.
- Osborne, J. (2010). Arguing to learn in science: the role of collaborative, critical discourse. *Science (New York, N.Y.)*, 328(5977), 463–6. doi:10.1126/science.1183944
- Sadler, T. D. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of research. *Journal of Research in Science Teaching*, 41, 513–536.
- Salter, I. Y., & Atkins, L. J. (2014). What students say versus what they do regarding scientific inquiry. *Science Education*, 98(1), 1–35.
- Sandoval, W. (2003). The inquiry paradox:

Why doing science doesn't necessarily change ideas about science. *Proceedings of the Sixth Intl. Computer-Based Learning in Science Conference*, 825–834.

- Stahl, E., & Bromme, R. (2007). The CAEB: An instrument for measuring connotative aspects of epistemological beliefs. *Learning and Instruction*, 17(6), 773–785.
- Stark, R., Puhl, T., & Krause, U.-M. (2009). Improving scientific argumentation skills by a problem-based learning environment: effects of an elaboration tool and relevance of student characteristics. *Evaluation & Research in Education*, 22(1), 51–68.
- Wecker, C., Hetmanek, A., & Fischer, F. (2014). Do Cross-Domain Skills of Scientific Reasoning and Argumentation Exist? *Paper presented at the 11th International Conference of the Learning Sciences*, June 23–27, Boulder, Colorado, USA.
- Weinberger, A., Stegmann, K., & Fischer, F. (2010). Learning to argue online: Scripted groups surpass individuals (unscripted groups do not). *Computers in Human Behavior*, 26(4), 506–515.
- Zimmerman, C. (2007). The development of scientific thinking skills in elementary and middle school. *Developmental Review*, 27(2), 172–223.
- Zion, M., Michalsky, T., & Mevarech, Z. R. (2005). The effects of meta-cognitive instruction embedded within an asynchronous learning network on scientific inquiry skills. *International Journal of Science Education*, 27(8), 957–983.

Vorarbeiten der Arbeitsgruppe

- Fischer, F., Kollar, I., Stegmann, K., & Wecker, C. (2013). Toward a script theory of guidance in computer-supported collaborative learning. *Educational Psychologist*, 48(1), 56–66.
- Fischer, F., Stegmann, K., Wecker, C., & Kollar, I. (2011). Online-Diskussionen in der Hochschullehre: Kooperationskripts können das fachliche Argumentieren verbessern. *Zeitschrift für Pädagogik*, 57(3), 326–337.
- Fischer, F., Wecker, C., Hetmanek, A., Osborne, J., Chinn, C. A., Duncan, R. G., ... Sandoval, W. A. (2014). The Interplay of Domain-Specific and Domain-General Factors in Scientific Reasoning and Argumentation. In J. L. Polman, E. A. Kyza, D. K. O'Neill, I. Tabak, W. R. Penuel, A. S. Jurow, ... L. D'Amico (Eds.), *International Conference of the Learning Sciences: Learning and Becoming in Practice. Volume 1* (pp. 1189–1198). Boulder, Colorado: International Society of the Learning Sciences.
- Hetmanek, A., Wecker, C., & Fischer, F. (2013). Does domain-general argumentation competence exist? *Paper presented at 15th Biennial Conference of the European Association for Research in Learning and Instruction (EARLI)*. München, Germany, August 27–31, 2013.
- Kollar, I., Ufer, S., Reichersdorfer, E., Vogel, F., Fischer, F., & Reiss, K. (2014). Effects of collaboration scripts and heuristic worked examples on the acquisition of mathematical argumentation skills of teacher students with different levels of prior achievement. *Learning and Instruction*, 32, 22–36.
- Opitz, A., Heene, M., & Fischer, F. (2014). Review of tests of scientific reasoning skills. *Poster auf dem 49. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie „Die Vielfalt der Psychologie“* 21.–25. September 2014 Ruhr-Universität Bochum. Bochum, Deutschland.
- Trempler, K., Hetmanek, A., Wecker, C., Kiesewetter, J., Fischer, F., Fischer, M. R., & Gräsel, C. (2015). Nutzung von Evidenz im Bildungsbereich – Validierung eines Instruments zur Erfassung von Kompetenzen der Informationsauswahl und Bewertung von Studien. *Zeitschrift für Pädagogik*, 61(61. Beiheft), 144–166.