

**Antwort auf den Kommentar von Lydia Murmann zu meinem Artikel:  
„Welche Art von wissenschaftlichem Modellieren ist in der Grundschule  
angemessen?“ In: [www.widerstreit-sachunterricht.de](http://www.widerstreit-sachunterricht.de), Nr. 23, Oktober 2017  
(12 Seiten).**

Zuerst möchte ich mich bei der Redaktion von Widerstreit für die Möglichkeit bedanken, meine Überlegungen darzulegen und so intensiv zu diskutieren. Das hilft mir sehr, meine Position inhaltlich und sprachlich besser zu klären, mit der Hoffnung, Möglichkeiten der breiteren Teilhabe am Diskurs um wissenschaftliches Modellieren zu eröffnen. Besonderer Dank gilt Lydia Murmann, die von Anfang an intensiv an der Entstehung des deutschen Textes des Artikels beteiligt war.

Ich möchte meine Antwort damit beginnen, kurz die Lernziele des wissenschaftlichen Modellierens zu benennen, die viele Autoren, die im Bereich des wissenschaftlichen Modellierens in der Grundschule arbeiten, teilen. Das soll die Grundlage bilden für die weitere Klärung meiner Perspektive darüber, wie Schüler\*innen dabei unterstützt werden können, sich in immer stärkerem Maße an diesem Modellierungsprozess zu engagieren. Meine Antworten auf Murmanns Kommentare entwickle ich dabei aus den Schritten der Klärung heraus. Am Ende behandle ich einige damit zusammenhängende Herausforderungen, von denen ich denke, dass sie produktiv gemacht werden können für die weitere Arbeit in diesem Forschungsfeld.

Das naturwissenschaftliche Modellieren ist eine zentrale Denk-, Arbeits- und Handlungsweise im naturwissenschaftlichen Unterricht. Diese beinhaltet vier epistemische Tätigkeiten: das Konstruieren, Benutzen, Evaluieren sowie Überarbeiten von Erklärungsmodellen zu einem natürlichen Phänomen. Diese epistemischen Tätigkeiten werden dabei im Unterricht durch epistemische Kriterien geleitet, welche sich aus den Anforderungen des naturwissenschaftlichen Modellierens ergeben. Diese Kriterien umfassen die Erklärungskraft der Modelle, das Einbeziehen von Beweisen, die Allgemeingültigkeit der Modelle sowie deren Nachvollziehbarkeit für Andere – in diesem Fall Schüler- und Lehrer\*Innen. Diese epistemischen Tätigkeiten und Kriterien des Modellierens, zusammen mit einem schrittweisen Verständnis zentraler Modelle der Naturwissenschaft, schaffen eine gemeinsame Basis, auf der jene, die in der Grundschule arbeiten, die Lernziele für wissenschaftliches Modellieren erarbeiten können. In meinem Artikel in Widerstreit Sachunterricht (WSU) - „Welche Art von wissenschaftlichem Modellieren ist in der Grundschule angemessen?“ In: [www.widerstreit-sachunterricht.de](http://www.widerstreit-sachunterricht.de), Nr. 23, Oktober 2017- habe ich auf drei Aspekte beim Erlernen der Modellierens hingewiesen, die aus meiner Sicht relevant für die Entwicklung dieser Ziele sind: (1) die Berücksichtigung des für Schüler\*innen bedeutungsvollen Gebrauchs des Verständnisses der Ziele des wissenschaftlichen Modellierens und des Weges, diese Ziele zu erreichen; (2) die Didaktik des Modellierens braucht *Agency*. Das bedeutet, es braucht eine besondere Aufmerksamkeit für das, was sich aus einem Kontext ergibt und diese Art der Partizipation fördert; und (3) die Rolle des Lehrers im Modellierensprozess.

(1) Mein zentraler Standpunkt in Bezug auf das Erlernen des wissenschaftlichen Modellierens in der Grundschule ist, dass Schüler\*innen die Ziele des wissenschaftlichen Modellierens übernehmen und ihre eigene Arbeit als einen Fortschritt hin zu diesen Zielen erleben müssen. Dieser Standpunkt befindet sich einer Linie mit einer großen Anzahl Literatur aus den Bereichen Science Education, Learning Sciences und Educational Psychologie, die praktische Annäherungen an Epistemologien umfasst, um Lernen zu unterstützen und zu untersuchen. In dieser Literatur wird davon ausgegangen, dass Lerner durch mehr oder weniger explizite Entscheidungen im Verlauf ihrer Unterrichtsaktivitäten lernen. Diese Art von Entscheidungen sind in der Literatur, die sich mit dem Lernen durch pragmatische Lerner-Epistemologien beschäftigt, verschieden benannt worden. Chinn, Buckland und Samarapungavan (2011) beispielsweise sprechen von ihnen als “epistemic commitments” (epistemischen Bindungen), bei denen die Epistemologie nicht notwendigerweise ausdrücklich oder bewusst ist. Als Beispiel verweisen sie darauf, dass, obwohl Individuen möglicherweise nicht sagen können, warum sie ein Wissensprodukt höher bewerten als ein anderes, aber die Wahl, die sie treffen, eine implizite Idee davon kommuniziert, welche Art Informationen in einem bestimmten Kontext wichtig sind. In unserer vorhergehenden Arbeit (Schwartz et. al. 2009; 2012) und der darauf basierenden von Berland et. al. (2015) wird auf diese Entscheidungen als "epistemic considerations" (epistemische Erwägungen) Bezug genommen, die die Arbeit der Lernenden hin zu einem "epistemischen Produkt", z.B. Modellen, leitet. Diese Zitationsvorschlag: Antwort auf den Kommentar von Lydia Murmann zu meinem Artikel: „Welche Art von wissenschaftlichem Modellieren ist in der Grundschule angemessen?“ In: [www.widerstreit-sachunterricht.de](http://www.widerstreit-sachunterricht.de), Nr. 23, Oktober 2017 (12 Seiten). In: [www.widerstreit-sachunterricht.de](http://www.widerstreit-sachunterricht.de), Nr. 24, Oktober 2018 (5 Seiten)

Terminologie, die auf Epistemologien "für die Wissenskonstruktion" basiert, wurde gewählt, um die große Bandbreite von Ideen, nicht von deklarativen Aussagen, zu unterstreichen, die Lernende je nach Kontext ändern, wenn sie die Modelle, die sie konstruieren, überprüfen und überarbeiten, miteinander teilen. Duschl und Grandy (2013) sprechen in diesem Zusammenhang von "epistemischen Entscheidungen" ("epistemic decisions"), die Lernende während der Transformation von Fragen, Handlungen und Ideen treffen, wenn sie sich Messungen, Daten, Belegen, Modellen und Erklärungen zuwenden, um eine Wissensbehauptung zu unterstützen. Wie bei anderen Autoren, die sich der Idee der Epistemologien für Wissenskonstruktion verpflichtet fühlen, beinhalten diese epistemischen Entscheidungen die Partizipation an iterativen Prozessen der Kritik und Konstruktion, um Behauptungen zu unterstützen. In allen diesen Fällen wollen die Autoren keine Aussagen über die Explizitheit der epistemischen Ideen der Lernenden, sondern über deren Implizitheit während der Partizipation an der Wissenskonstruktion und –revision treffen. Genau aus dieser Perspektive beziehe ich mich in meinem Artikel auf *metamodelling knowledge*: **epistemische Erwägungen**, die die Partizipation der Schüler\*innen beim Konstruieren und Überarbeiten von Modellen im Unterricht geleiten. Das verweist auf die mehr oder weniger expliziten Entscheidungen über die epistemischen Kriterien des Modellierens, die die Modellierungstätigkeiten während des Modellierens im Unterricht leiten. Dieses Wissen über Modellierung ist eine Art von Verständnis von der Natur der Wissenschaft (a type of nature of science understanding, Lederman 2007), ein "metamodelling knowledge" (Schwarz & White 2005), das während der Partizipation am Modellierungsprozess ins Spiel kommt. Ich argumentiere, dass die epistemischen Elemente im Modellierungsprozess und das Metawissen (*metamodelling knowledge*) nicht als zwei voneinander getrennte Lernziele betrachtet werden sollten. Die *Practice* des wissenschaftlichen Modellierens und das zugrundeliegende Wissen sind deutlich wirkungsmächtiger, wenn sie aufeinander bezogen sind, als wenn sie als zwei einzelne Komponenten gesehen werden. Diese Perspektive leitet meine Versuche, die Partizipation der Schüler\*innen im Modellierungsprozess mit dem zugrundeliegenden und diesen Prozess sinnvoll machenden Wissen zu verbinden. Ich sehe diese Ziele deshalb nicht im Widerstreit mit anderen Bildungszielen (Murmans, S. 3), sondern als einen Weg, die Lernenden dabei zu unterstützen, die im Unterricht entstandenen Modelle sinnvoll zu nutzen, indem sie an einem Prozess partizipieren, der voraussetzt, dass sie schrittweise das naturwissenschaftliche Denken und die Normen, die diesen Prozess bestimmen, verstehen (Was sie tun und warum sie es tun.).

(2) Schüler\*innen, die an Modellierungsprozessen partizipieren, dabei zu unterstützen, Fortschritte bei ihrer Arbeit wahrzunehmen, benötigt *agency*. Das bedeutet, es braucht eine besondere Aufmerksamkeit für das, was sich aus einem Kontext ergibt und diese Art der Partizipation fördert. *Epistemische Erwägungen*, die die Modellierungsarbeit im Unterricht leiten, entstehen aus dem sozialen und materialen Kontext, der sich mit dieser Arbeit entwickelt. Sie entstehen aus der dialektischen Interaktion zwischen Individuen, deren individuellen Hintergründen und der Klassengemeinschaft durch die materialen Repräsentationen, die sie in der Lage sind zu entwickeln. *Agency* ist weithin als nützliches Element des Lernens beschrieben. *Relationale agency* beispielsweise eröffnet Schüler\*innen Möglichkeiten, interpersonale Beziehungen zu entwickeln und mit- und voneinander zu lernen (Edwards 2005), die *konzeptuelle agency* führt zu Fortschritten hin zu einem vertieften disziplinären Verständnis (Greeno 2006), mit der *transformativen agency* wird es Schüler\*innen möglich, sich von traditionellen Mustern des als gegeben Hinnehmens zu lösen, in die Initiative zu gehen und sich dem authentischen Problemlösen zuzuwenden (Lipponen und Kumpulainen 2011) und *epistemische agency* schließlich bezieht sich auf Individuen oder Gruppen, die Verantwortung dafür übernehmen oder übertragen bekommen, das Wissen und die *Practice* einer Gemeinschaft zu formen (Ahlstroms, 2010; Damsa, Kirschner, Andriessen, Erkens, & Sins, 2010; List & Pettit 2006; Pickering, 1995; Rupert, 2005; Scardamalia, 2002; Stroup, 2014; Tollefsen 2004). In all diesen Texten betonen die Autoren die Notwendigkeit, die entstehenden Bedürfnisse der Lernenden zu bedienen, um ein qualitativ hochwertiges Lernen sicherzustellen und sie betonen die Wichtigkeit, Möglichkeiten zu kreieren, damit dies passiert. Um solche Möglichkeiten zu kreieren, betone ich in meinem Artikel die materielle Dimension des wissenschaftlichen Modellierens als eine *scientific Practice* (wissenschaftliche Praxis): wie Akteure Werkzeuge, Technologien, Darstellungen und andere Ressourcen kreieren, adaptieren und gebrauchen, um die intellektuelle Arbeit der *Practice* zu unterstützen. (Pickering, 1995) Dabei lege ich mein Augenmerk auf Darstellungen der Schüler\*innen und Manipulationen mit der physischen Materialität als einer Ressource, ihre Wissensprodukte zu entwickeln und zu überarbeiten. Dieses Augenmerk betont die Relevanz für alle am Unterricht Beteiligten, auf authentische Werkzeuge zu zählen, mit denen man durch Modelle den Sinn natürlicher Phänomene erschließen kann. Im Rahmen des Konzeptes der *agency* sind diese Werkzeuge ein sich entwickelndes und dynamisches Produkt der Dialektik zwischen den Beteiligten im Klassenzimmer und deren Manipulation mit der physischen Welt. Diese Dialektik schafft in meinen Augen keine Verwirrung, sondern ist eine produktive Ressource, um ernsthafte Unterstützung für die Erreichung der Lernziele des Modellierens zu entwickeln.

(3) Lehrer, so mein Argument, tragen eine Hauptverantwortung dafür, Möglichkeiten der *agency* zu generieren. Das beinhaltet die Unterstützung und Nutzung der Darstellungen der Schüler\*innen und Veränderungen der physischen Materialität als eine Ressource, ihre Modelle zu entwickeln und zu überarbeiten.

Diese Arbeit beinhaltet die eigene Positionierung als partizipierendes Mitglied der Klasse, das die wissenschaftliche Sinn-Erzeugung in Modellierungstätigkeiten durch epistemische Kriterien orchestriert. Lehrer spielen dabei eine nicht-autoritative Rolle bei der Verhandlung zwischen den Beteiligten im Klassenzimmer, den verschiedenen Erfahrungen und Erwartungen, einschließlich ihrer eigenen. Sie regen Wege an zu lernen, wie man partizipieren kann, entstehende Ideen und Darstellungen zu produzieren und zu bewerten, eingebettet in einen Lehr- und Lernprozess des Modellierens (Acher et al. 2007). Eine Darstellung eines Phänomens beispielsweise wird erst zu einem Modell, wenn es zur Erklärung dafür verwendet wird, was in diesem Phänomen vor sich geht. Um dies möglich zu machen, müssen Lehrer die Schüler\*innen- und sich selbst - mit den folgenden Fragen im Hinterkopf in die Arbeit mit Darstellungen vertiefen: Welche Art der Antwort sollte diese Darstellung bieten, wenn wir vorhaben, sie dazu zu benutzen, ein natürliches Phänomen zu interpretieren? Sollte sie detailliert beschreiben, was passiert oder sollte sie beschreiben, wie oder warum etwas passiert (d.h. sollte sie einen Schritt-für-Schritt-Mechanismus artikulieren?) Wege der Entwicklung der Modellierungsarbeit im Klassenzimmer, die diese Fragen mehr oder weniger explizit machen, können genutzt werden, um das Wissen anzuzeigen, das auf der Grundlage der Qualität der Erklärung, die das Modell anbietet, erzeugt wird - d.h. eine epistemische Erwägung teilen, während man an der Entwicklung eines Modells arbeitet. Die Arbeit des Lehrers beinhaltet außerdem, weitere epistemische Erwägungen zu teilen, um die bereits produzierten Modelle zu bewerten und zu überarbeiten. Das kann auch bedeuten, die Klasse dazu zu bringen, Ideen, die im Modell enthalten sind, zu rechtfertigen. Lehrer müssen dann möglicherweise dahin zurückkehren, das Verhältnis zwischen dem Modell und der physischen, materiellen Welt aufzufrischen, sei es durch Beobachtung, was tatsächlich passiert bis hin zu experimentellen Daten, um Belege zu konstruieren, mit denen die Erklärung des Modells gerechtfertigt werden können.

Diese Art der Modellierungsarbeit zu unterstützen ist eine didaktische Verantwortung des Lehrers. Es ist eine Verantwortung, die auf der Unterstützung und Nutzung der Ideen und Darstellungen der Studenten basiert. Das bedeutet nicht, dass damit "fixing misconceptions" oder "korrekte" Antworten zu Tage gefördert werden sollen. Vielmehr nutzen Lehrer diese Ideen und Darstellungen als Ressourcen für die Entwicklung von Modellierungstätigkeiten durch geteilte epistemische Erwägungen, mit denen die Modelle, die in diesen Tätigkeiten entstehen, überprüft werden können. Diese Art der Lehrarbeit ist vielfach beschrieben worden in der Literatur zur Professionalisierung der Lehrer als eine Arbeit, die Möglichkeiten für Schuler schafft, ihr Wissen von der natürlichen Welt zu überdenken und zu vertiefen, indem sie sich auf authentische disziplinäre Arbeit einlassen. (z.B. Ball & Forzani, 2011; Ball, Sleep, Boerst, & Bass, 2009; Duschl, 2008; Lampert & Graziani, 2009; Windschitl et al., 2012) Ich kann keinen Grund erkennen, warum Fachwissen und fachdidaktisches Wissen in dieser Form der didaktischen Arbeit des Lehrers ausgeschlossen sein soll. Ich sehe aber sehr wohl die Notwendigkeit, Teile dieses Wissens zum Zwecke der Unterstützung des Modellierungsprozesses zu überarbeiten. Eine Möglichkeit der Überarbeitung bestünde darin, domänenspezifische epistemische Unterstützungen für wissenschaftliches Modellieren zu entwerfen. Diese Unterstützungen sind beispielsweise materielle Repräsentationen, die produktive Beziehungen nach sich ziehen, um Modelle in den verschiedenen naturwissenschaftlichen Disziplinen entwickeln zu können, die flexibel genug sind, auch die *Agency* der Schüler\*innen zu unterstützen.

Im Biologieunterricht könnten solche Unterstützungen beispielsweise einfache Repräsentationen unseres eigenen Körpers in Form von Transformationsboxen sein, die Materie, Energie und Information mit ihrer Umgebung austauschen. Diese materiellen Repräsentationen sind tief verwurzelt in der Biologie und öffnen dennoch einen Raum für die Spezifizierung des Wissens und Handelns von Schüler\*innen. Lehrer haben die Aufgabe, sie mit denen der Schuler\*innen zu verhandeln. Das kann auch bedeuten, dass man Aspekte der Darstellungen der Schuler erfasst, die zu konkret sind und gemeinsam Repräsentationen konstruiert, mit denen man die Erklärung des menschlichen Körpers fortsetzen kann. Das kann auch Entscheidung en darüber nach sich ziehen, welche inneren Boxen an den biologischen Transformationen bei spezifischen biologischen Prozessen beteiligt sind, wie das Produkt der Boxen sich im gesamten Körper verteilt oder es kann nötig sein, Informationsquellen zu lesen, um die Boxen mit den entsprechenden Bezeichnungen der menschlichen Organe zu benennen, die an den biologischen Transformationen beteiligt sind (d.h. „traditionelle Inhalte“).

Diese Art der Modellierungsarbeit ist unmöglich ohne die didaktische Intention des Lehrers, offen auszuhandeln und strategische Entscheidungen zu treffen. Schüler\*innen kommen mit ihren Darstellungen nicht alleine zu produktiven Zusammenhängen, um die Naturphänomene in einem spezifisch disziplinären Weg zu erklären. Lehrer müssen darüber entscheiden, wie abstrakt diese Repräsentationen sein sollen und sie müssen, wenn nötig, das für die Komplettierung eines Modells nötige Wissen vermitteln. Im Zusammenhang mit dieser Art der Arbeit des Lehrers sehe ich nicht, dass das des didaktischen Konzeptes des Modellierens „konterkariert“ wird. (Murmman, S.2, Punkt a)

## Fazit

Meine Sicht auf Naturwissenschaft in der Grundschule ist, dass Schülern legitime Teilhaber an den sozialen, epistemischen und materiellen Dimensionen von Wissenschaft werden dürfen. Die Arbeit an diesem Ziel muss dabei Hand in Hand mit dem Erlernen der Ideen von Naturwissenschaft, eingebettet in wissenschaftliche Modelle und ihre Methoden, erfolgen. Wissenschaftliches Modellieren lehren und lernen, wie ich es hier und in früheren Arbeiten beschrieben habe, ist ein Weg, um dieses Ziel zu erreichen. Mit Kollegen und Mitarbeitern in Amerika und Europa, einschließlich Deutschlands, sammle ich Belege für diese Art des Lehr- und Lernprozesses auf verschiedenen didaktischen Ebenen - auf der Ebene des Unterrichts, der der Lehrer\*innen und auf der Ebene der Lehrerbildung. Ich lerne dabei auch, Herausforderungen zu identifizieren, die sich aus dieser Arbeit ergeben. Einige dieser Herausforderungen unterscheiden sich von denen, die Murmann aufgeworfen hat. Ich fasse im Folgenden jene zusammen, die sich direkt aus den Kommentaren Murmanns ergeben und eröffne Perspektiven, um sie - aus meiner Sicht - meistern zu können.

- 1) Transparenz darüber herzustellen, wie Wissenschaft arbeitet (Murmann, S.3) ist die Konsequenz einer didaktischen Arbeit, die epistemische Erwägungen unterstützt, während sie an der Konstruktion und Überarbeitung von Modellen arbeitet. Die Herausforderungen entstehen also aus dem Studium der praktischen Epistemologie des Lernens.
- 2) Authentische Erfahrung zu den Erkenntniswegen der Naturwissenschaften (Murmann, S.2) ist das Resultat einer didaktischen Arbeit, die die Lernziele des wissenschaftlichen Modellierens und die Ziele der Kinder in Einklang bringt. Die Herausforderungen entstehen also aus den Frameworks, die authentisches Lernen in der Grundschule ermöglichen sollen (z.B. "disciplinary productive engagement", Engle & Conant, 2002; "learning for use", Edelson, 2011).
- 3) Die Prozesse des Erkenntnisgewinns sind die Konsequenz der Erzeugung einer Dialektik von Darstellungen und Veränderungen der physischen Welt, die die Bedeutung der wissenschaftlichen Ideen vermittelt, die in den Modellen eingebettet sind und aus dieser Dialektik entstehen. Die "Dialektik in der Dialektik" (Acher, 2017 WS, S.6) stiftet keine Verwirrung darüber, wie Erkenntnis zustande kommt (Murmann, S. 3), sondern eröffnet eine Ressource zur Unterstützung des schrittweisen Lernens der Kinder durch kontinuierliche Versuche, phänomenologische Interpretationen zu organisieren. Die Herausforderungen entstehen also als Konsequenz der didaktischen Arbeit zur Identifizierung und Förderung dieser Versuche bei der Partizipation der Kinder an Modellierungstätigkeiten und Kriterien, mit denen die Entscheidungen, die getroffen wurden, überprüft werden können.
- 4) 4. Lehrer haben eine ausgesprochene Verantwortung dafür, in den Modellierungsprozess einzugreifen. Sie haben die Verantwortung dafür, dass Schüler\*innen Darstellungen generieren, die für die Einschätzung der wissenschaftlichen Ideen in diesen Darstellungen funktionieren und eine Entscheidungskultur entwickeln, die auf den Modellierungstätigkeiten und den Kriterien aufbaut. Die Herausforderungen entstehen also als Konsequenz aus der didaktischen Arbeit, produktive Unterstützung für das wissenschaftliche Modellieren anzubieten. Didaktik meint vor allem, das Lernen zu unterstützen und die Unterstützung dieser Angebote kann von strukturierten Aufgaben bis zu offenen Lernumgebungen reichen. Sie zieht sich durch alle didaktischen Ebenen, einschließlich der Art unserer Lehrerbildung, um den Lehrern Unterstützung zu bieten, die Schüler\*innen in ihrer Selbstwirksamkeit zu unterstützen.

Um zu schließen: Ich sehe keine „Simulationen“ darüber, wie Wissenschaft arbeitet (Murmann, S.3), in meinem Ansatz des Modellierens als Lehr- und Lernprozess in der Grundschule. Stattdessen wird die Arbeit der Schüler\*innen durch eine angemessene didaktische Unterstützung wertgeschätzt, die ein Produkt der Balance der Lernziele ist. Es geht darum, die Schüler\*innen in das Lernen zu engagieren, zu lernen an einer wissenschaftlichen Kultur zu partizipieren, die Wissensprodukte generiert und diese evaluiert.

Also: Ein gradueller Enkulturationsprozess darin, welches Wissen Naturwissenschaft produziert und auf welche Weise dies geschieht.

## Literatur

- Acher, A., Arca', M., & Sanmarti', N. (2007). Modeling as a teaching learning process for understanding materials: A case study in primary education. *Science Education*, 91(3), 398–418.
- Ahlstroms, K. (2010). *On epistemic agency*. Unpublished doctoral dissertation, University of Massachusetts, Amherst.
- Ball, D., & Forzani, F. (2011). Building a common core for learning to teach, and connecting professional learning to practice. *American Educator*, 35(2), 17 – 21, 38 – 39.
- Ball, D., Sleep, L., Boerst, T., & Bass, H. (2009). Combining the development of practice and the practice of development in teacher education. *The Elementary School Journal*, 109(5), 458 – 474.
- Berland, L. K., Schwarz, C. V., Krist, C., Kenyon, L., Lo, A. S., & Reiser, B. J. (2015) Epistemologies in practice: Making scientific practices meaningful for students. *JRST*. doi: 10.1002.tea.21257.

- Chinn, C. A., Buckland, L. A., & Samarapungavan, A. (2011). Expanding the dimensions of epistemic cognition: Arguments from philosophy and psychology. *Educational Psychologist, 46*(3), 141±167. doi:10.1080/00461520.2011.587722
- Damsa, C. I., Kirschner, P. A., Andriessen, J. E. B., Erkens, G., & Sins, P. H. M. (2010). Shared epistemic agency –An empirical study of an emergent construct. *Journal of the Learning Sciences, 19*(2), 143 – 186.
- Duschl, R. A. (2008). Science education in three-part harmony: Balancing conceptual, epistemic, and social learning goals. *Review of Research in Education, 32*(1), 268±291.
- Duschl, R., & Grandy, R. (2013). Two views about explicitly teaching nature of science. *Science and Education, 22*, 2109–2139.
- Edelson, D. C. (2001). Learning-for-use: A framework for integrating content and process learning in the design of inquiry activities. *JRST, 38*(3), 355±385.
- Edwards, A. (2005). Relational agency: Learning to be a resourceful practitioner. *International Journal of Educational Research, 43*, 168–182.
- Engle, R. A., & Conant, F. R. (2002). Guiding principles for fostering productive disciplinary engagement: Explaining an emergent argument in a community of learners classroom. *Cognition and Instruction, 20*(4), 339–483.
- Greeno, J. G. (2006). Authoritative, accountable positioning and connected, general knowing: Progressive themes in understanding transfer. *The Journal of the Learning Sciences, 15*, 537–547.
- Lampert, M., & Graziani, F. (2009). Instructional activities as a tool for teachers' and teacher educators' learning. *The Elementary School Journal, 109*(5), 491 – 509
- Lederman, N.G. (2007). *Nature of science: Past, present, and future*. In S.K. Abell & N.G. Lederman (Eds.), Handbook of research on science education (pp. 831–879). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Lipponen, L., & Kumpulainen, K. (2011). Acting as accountable authors: Creating interactional spaces for agency work in teacher education. *Teaching and Teacher Education, 27*, 812–819.
- List, C., & Pettit, P. (2006). Group agency and supervenience. *Southern Journal of Philosophy, 44*(S1), 85 – 105.
- Pickering, A. (1995). *The mangle of practice: Time, agency, and science*. University of Chicago Press.
- Rupert, R. D. (2005). Minding one's cognitive systems: When does a group of minds constitute a single cognitive unit? *Episteme, 1*(3), 177 – 188.
- Scardamalia, M. (2002). *Collective cognitive responsibility for the advancement of knowledge*. In B. Jones (Ed.), Liberal education in a knowledge society (pp. 67 – 98). Chicago: Open Court
- Tollefsen, D. (2004). Collective epistemic agency. *Southwest Philosophy Review, 20*(1), 55 – 66.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Acher, A., Fortus, D., & Krajcik, J. S. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *JRST, 46*(6), 632±654. doi: 10.1002/tea.20311
- Schwarz, C. V., & White, B. Y. (2005). Metamodeling knowledge: Developing students' understanding of scientific modeling. *Cognition and Instruction, 23*(2), 165±205.
- Schwarz, C.V., Reiser, B.J., Davis, E.A., Kenyon, L., Acher, A., Fortus, D., et al. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *JRST 46*, 632–654.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Acher, A., Kenyon, L., & Fortus, D. (2012). *MoDeLS: Challenges in developing a learning progression for scientific modeling*. In A. C. Alonzo & A. Gotwals (Eds.), Learning progressions in science: Current challenges and future directions (pp. 101±137). Rotterdam: Sense Publishers.
- Stroupe, D. (2014). Examining Classroom Science Practice Communities: How Teachers and Students Negotiate Epistemic Agency and Learn Science-as-Practice. *Science Education 98:487–516, 2014*
- Windschitl, M., Thompson, J., Braaten, M., & Stroupe, D. (2012). Proposing a core set of instructional practices and tools for teachers of science. *Science Education, 96*(5), 878 – 903.