

Frederic Richter-Bonin¹
Antonia Kirchhoff²
Sophia Peukert³
Patrick Maisenhölder⁴
Marvin Rost⁵

¹Besselgymnasium Minden
²Universität Bielefeld
³TU Chemnitz
⁴PH Ludwigsburg
⁵AECC Chemie, Universität Wien

MINT trifft Philosophie – Reflexionen über die Zusammenarbeit

Der Workshop ist aus einem Kontakt zwischen der *Jungen GPED* (Gesellschaft für Philosophie- und Ethikdidaktik) und der *GDCP* geboren worden. Im April 2024 fand ein Auftakt der Initiative “MINT trifft Philosophie” mit 17 Teilnehmenden statt. An der zweiten Zusammenkunft im Workshop war der Großteil der ca. 25 Teilnehmenden Neu-Interessierte, die beim Auftakt nicht dabei waren. Die Begegnung der beiden Fachkulturen förderte das Bedürfnis sowie die Anschlussfähigkeit eines didaktischen Austausches zu Tage. So unterschiedlich die folgenden Workshop-Teile auch sind, eint sie das zugrundeliegende Anliegen nach Analyse der Komplexität: Naturwissenschaftlicher Unterricht ist mehr als der “WOW-Effekt”, Philosophieunterricht ist keine “Laberei”. Der Workshop bestand aus einem Input-Vortrag und vier Themen, die frei wählbar in Gruppen bearbeitet wurden.

Wie geht philosophieren? – Ein Vorschlag (Maisenhölder)

Die Fachdidaktik Philosophie und Ethik hatte und hat zum Ziel, Ansätze zu entwickeln, die das Philosophieren in Bildungskontexten anleiten können, um es so besser plan- und durchführbar und analysier- und evaluierbar zu machen. Das *Sokratische Gespräch* kann als das über Fachgrenzen hinaus bekannteste Beispiel hierfür zählen (vgl. Birnbacher, 2017).

Neuere Ansätze versuchen diese Idee weiterzuführen, aber gleichzeitig der Interdisziplinarität der Fachdidaktik gerecht zu werden (vgl. Bussmann, 2023). Im Anschluss an kognitionspsychologische Forschung geht man davon aus, dass man für fachdidaktische Überlegungen zum Philosophieren als Denkprozess eben jene Forschungsbereiche auf- und ernstnehmen muss, die das Denken untersuchen (vgl. Pfister, 2020). Frank Brosows TRAP-Mind-Theory mit ihrer zugehörigen Matrix kann als Modell des Philosophierens gelten, das dies umzusetzen versucht.

Die TRAP-Mind-Theory von Frank Brosow basiert auf der durch Kahneman (Kahnemann, 2011) und andere bekannt gewordene Zwei-System-Theorie. Diese teilt den Denkprozess in ein intuitives, automatisches *System 1* und ein langsames, kontrolliertes *System 2* auf. System 1 trifft auf Basis von Heuristiken schnelle Urteile. System 2 kann diese Urteile durch bewusste Reflexion überprüfen. Jedes dieser Systeme hat seine Stärken. System 1 ist jedoch das *Default-System*, während System 2 die *Interventionsinstanz* ist (Pfister et al., 2017, S. 347). Das heißt, die meiste Zeit über nutzen Menschen System-1-Prozesse. Das ist dann problematisch, wenn es in einem Bereich angewandt wird, in dem das langsame und reflektierte Denken ausschlaggebend sein sollte: Das Philosophieren ist so ein Bereich. Das Modell versucht deshalb systematisch System-2-Prozesse zu fördern.

Dies tut die TRAP-Mind-Theory dadurch, dass sie das zu systematisieren versucht, was man tut, wenn man philosophiert: problemorientiert Gründe sammelt und prüft (vgl. Brosow, 2020, 68). Das Ergebnis dieses Systematisierungsversuches ist die TRAP-Mind-Matrix (siehe Abb. 1).



Abb. 1:
Brosow 2020

Brosow definiert drei Problembereiche. Probleme, über die man philosophiert, können in diesen drei Bereichen liegen: Verstehen, Bewerten und Handeln. Beim Verstehen geht es darum, Begriffe klar zu definieren und in Übereinstimmung mit bestehenden Vorstellungen zu bringen. Bewertungsprobleme beziehen sich auf Fragen der Wahrheit, Moral oder Ästhetik, während es beim Handeln um eine begründete Entscheidung zwischen konkurrierenden Maßstäben geht, etwa bei einem Wertekonflikt (vgl. Brosow, 2024, S. 59). Für naturwissenschaftliche Didaktiken ist hier wichtig, dass die Probleme keine philosophischen sein müssen. Auch hinsichtlich nicht-philosophischer Probleme lassen sich Überlegungen anstellen und prüfen. Etwa, wenn man mit einer Lerngruppe der Frage nachgeht, “warum der Mond (außer in Vollmondnächten) nicht als voller Kreis, sondern nur als Sichel oder Halbmond am Nachthimmel zu sehen [ist]”? (Brosow, 2024, S. 63f.) Hier lassen sich Behauptungen aufstellen, Gründe angeben und selbige, empirisch oder nicht-empirisch, auf Plausibilität prüfen. Diese Prüfung geschieht durch die Niveaus und die 3K2V-Kriterien. Das erste Niveau des Denkens macht deutlich, dass das Philosophieren immer von den Intuitionen der Philosophierenden ausgeht. Das ist notwendig für das Philosophieren, aber noch nicht hinreichend. Damit man wirklich vom Philosophieren sprechen kann, müssen Antworten und deren Gründe geprüft werden. Das geschieht durch die Frage nach dem Niveau des Grundes: Für wen kann dieser Grund ein guter Grund sein? Ist es ein subjektiver Grund des Philosophierenden (*Niveau des Nachdenkens*), ist es ein Grund, der für manche, beispielsweise aufgrund bestimmter weltanschaulicher Prämissen, ein guter Grund sein kann (*Niveau des Argumentierens*) oder ist es ein Grund, der von allen nachvollzogen werden kann, die bereit und fähig sind, sich auf einen unparteiischen Standpunkt zu begeben (*Niveau des Philosophierens*)? (vgl. Brosow, 2020, S. 67)

Um die Qualität von Gründen zu beurteilen und einzuschätzen, ob ein Grund wirklich auf diesem Niveau angesiedelt werden kann, führt Brosow die 3K2V-Kriterien ein: Klarheit, Korrelation, Konsistenz, Vollständigkeit und Vergleich. Diese Kriterien bilden die Grundlage für eine systematische Reflexion, da sie es ermöglichen, Gründe zu prüfen und gegen Alternativen abzuwägen. “Eine Überlegung, die mir selbst klar ist und, gemessen an meinen Erfahrungen, konsistent erscheint, muss nicht anderen klar erscheinen und, gemessen an ihren Erfahrungen, konsistent sein” (Brosow, 2020, S. 67f.).

Chemie lernen durch dogmatische Lehrsätze? (Richter-Bonin)

Eine philosophische Bildung erzieht zur kritischen Reflexion. Aus dieser werden epistemische Problematiken im Chemie-Curriculum beim Wechselspiel zwischen Empirie/Experiment und Theorie deutlich. Eine “generalisierende Induktion” stellt ebenso wie das “deduktive Verfahren ohne Bezug zu Hypothesen” (Sommer & Pfeifer, 2018, S. 83f) eine unzulässige Verkürzung dar. Wenn bei der Kritik an der “Pseudoinduktion” (Streller et al., 2019, S. 67f) auf Christen im Jahre 1990 verweisen, zeigt sich, dass diese Punkte keineswegs neu sind, sondern anhaltende Einwände darstellen. Kürzlich formulierte der OECD-Direktor Andreas Schleicher diese grundlegende Kritik durch einen Vergleich: “Wir unterrichten zum Beispiel die Wissenschaft wie Religion. Die Schüler sollen an irgendwelche Theorien glauben und die

Formeln runterbeten" (Schleicher, 2024) - wogegen es schon vor 45 Jahren hieß: "Ein unverstandenes Modell wird verordnet, die Naturwissenschaft wird als Dogma vermittelt" (Jaekel & Rieß, 1979, S. 278).

Wie könnte demgegenüber ein Lehr-Lerngang aussehen, der auf durchdringendes Verstehen statt bloßem Akzeptieren der Inhalte zielt? In diesem Workshopteil wurde ein Beispiel aus dem Eingangsunterricht Chemie diskutiert: Die Unterscheidung *elementarer Stoff versus Verbindung*. Sie wird für gewöhnlich über das Paar Analyse-Synthese geführt: "Elementare Stoffe und Verbindungen sind Reinstoffe. Verbindungen können in elementare Stoffe zerlegt werden, während sich elementare Stoffe nicht weiter in andere Stoffe zerlegen lassen." (Gietz et al., 2019, S. 131) Doch wie lässt sich dieser Lehrsatz bezeugen? Den Anspitzer zu einem weißgrauen Pulver zu verbrennen ist eine Synthese oder Analyse? Ein dunkelgraues Pulver (Silberoxid) zu einem glänzenden Stoff und einem Gas zu erhitzen, ist was von beidem? Dies kann im Unterricht nicht geklärt werden, wie schon 1978 festgestellt (vgl. KM NRW 1978, S. 16). Hier werden dogmatisch Definitionen gesetzt, die auf erst viel später entwickelter Chemie-Theorie fußen und deshalb von den Lernenden schlicht geglaubt werden müssen.

In der Gruppenarbeit wurden diese Thesen zunächst zustimmend diskutiert und mögliche Auswege antizipiert. Neben widerstrebenden Äußerungen wie "Diese Fragen kommen gar nicht auf, wenn die Praxis funktioniert" oder "Wir stehen nun mal auf den Schultern von Riesen; es ist das Vorherige zu glauben und weiterzugehen" wurde auch in die vorbereitete Richtung gedacht: "Wie ist das denn in der Historie gewesen?". Denn anschließend wurde der Bestimmungsvorschlag von Wilhelm Ostwald angeboten: "Was ist also hiernach ein Element? - Ein Stoff, dessen Umwandlungsprodukte alle mehr wiegen als er selbst. - Ganz richtig!" (Ostwald, 1937 [1904], S. 65). Diese Begründung für die Unterscheidung von Element und Verbindung muss nicht geglaubt, sondern kann nachgeprüft werden. In der weiteren Besprechung wurden die beiden Definitionen als deduktiv vs. induktiv charakterisiert und weitere Fälle (Lösungsprozesse, Schwefel- und Kohlenstoffkonfigurationen, Fällungsreaktionen) in der kritischen Reflexion der Definition einer "chemischen Reaktion" diskutiert.

Was ist das Problem der epistemischen Undurchsichtigkeit computerbasierter Simulationen? (Kirchhoff)

Computerbasierte Simulationen spielen eine zunehmend bedeutende Rolle in Wissenschaft und Gesellschaft und sind, zusammen mit ihren didaktischen Vorteilen, aus diesem Grund auch aus einer *scientific literacy* Perspektive für den Chemieunterricht relevant (Seoane et al., 2022). In ihrem Bezug zur NOS sind es entsprechend auch wissenschaftsphilosophisch-epistemologische Überlegungen, die sowohl im Unterricht als auch in der Lehrendenbildung untersucht werden sollten. Computerbasierte Simulationen sind aufgrund der im Hintergrund stattfindenden Berechnungen mittels komplexer Approximationsalgorithmen epistemisch undurchsichtig (Humphreys, 2009, S. 618). Was genau also zwischen Ein- und Ausgabe passiert, ist unklar. In der Schule, wo die Rechenprozesse für die Schüler*innen nicht nur kognitiv, sondern auch tatsächlich technisch nicht zugänglich sind, wird dieser Effekt noch einmal verstärkt.

Vor diesem Hintergrund wurde in der Gruppenphase die übergeordnete Fragestellung "Wie gehen wir mit der epistemischen Undurchsichtigkeit computerbasierter Simulationen in naturwissenschaftlichen Lehr-Lern-Kontexten um?" diskutiert. Aufgrund Erfahrungen der Gruppenmitglieder zu KI wurde die hier besonders hervortretende und allgemein bekanntere

epistemische Undurchsichtigkeit als Anlass genommen, um erstens die Frage, warum das epistemologische Phänomen überhaupt ein Problem darstellt und zweitens, welche Ansätze im Umgang zur Verfügung stehen, zu diskutieren. Während erstere sich schnell durch Bezüge zu Reliabilität und Rechtfertigung auch in Bezug auf drohende Wissenschaftsskepsis bzw. lehrendengeleitete Überinterpretationen simulationsgenerierter Inhalte beantworten ließ, blieb zweite bis zum Ende unbeantwortet. Diskutiert wurden Glass Box-Simulationen (Landriscina, 2013), Strategien zur Ergebnisbewertung und computationale Reliabilität (Durán & Formanek, 2018). Für alle drei konnten jedoch jeweils technische, epistemologische oder didaktische Schwierigkeiten herausgearbeitet werden. Insgesamt zeigt sich, dass neben der Nutzung wissenschaftsphilosophischer Grundlagen für Problembeschreibungen im Naturwissenschaftsunterricht auch Fragen nach dem folgenden unterrichtlichen Umgang bedeutsam sind und Potentiale für gemeinsame naturwissenschaftlich-philosophische Forschungsanstrengungen begründen.

Inwieweit kann ein Zusammenspiel zwischen dem Philosophieren mit Kindern und den MINT-Fächern gelingen? (Peukert)

Das Philosophieren mit Kindern (PmK) hat als Unterrichtsfach sowie als Unterrichtsprinzip zum Ziel, dass Kinder zu unterschiedlichen (philosophischen) Themen und Problemstellungen verschiedene Positionen, Erfahrungen und Denkweisen kennenlernen sowie sich mit diesen auseinandersetzen (Michalik, 2015). Diese Auseinandersetzung geschieht u. a. durch das Prüfen von Argumenten und Gründe sowie das kritische und selbstreflektierte Hinterfragen von eigenen Sicht- und Denkweisen (Brüning, 2015; Goebels, 2018; Kim, 2014). Ziel dieses Vorgehens ist, dass Kinder zu den zu untersuchenden Themen oder Problemstellungen zunehmend ein differenziertes Problemverständnis entwickeln (Michalik, 2015). Ausgehend von dem aufgezeigten Verständnis des PmK wurde in der Workshopgruppe herausgearbeitet, dass MINT-Fächer und das PmK (als Unterrichtsprinzip) im Zusammenspiel miteinander eine gelungene Kombination darstellen. Beide Disziplinen können sich gegenseitig im Kontext der (Grund-) Schule bereichern.

Als Bereicherung wurde die Möglichkeit eines Einstiegs durch das PmK in MINT-Unterrichtsthemen erkannt. Durch diese Art des Einstiegs werden Kinder dazu angehalten, ausgehend von ihren eigenen Vorstellungen, über naturwissenschaftliche Problemstellungen (Ist Luft nichts? Wo ist das Ende von der Unendlichkeit?) nachzudenken, sich im Austausch mit den Mitlernenden dazu zu äußern und (kritisch) zu positionieren. Die Kinder haben durch dieses Vorgehen die Möglichkeit, sich ihrer Haltung und ihres Vorwissens bewusst zu werden sowie kritisch über die Fragestellung nachzudenken. Weiterhin erhalten sie ggf. die Möglichkeit, mit Haltungen konfrontiert zu werden, die nicht ihren eigenen entsprechen. Die Ergebnisse aus dieser Einstiegsphase sollten in der Bearbeitung des Unterrichtsthemas wiederholt aufgegriffen und durch die Kinder regelmäßig geprüft und ggf. angepasst bzw. erweitert werden. Neben den genannten Aspekten erhält zudem die Lehrperson durch das aufgezeigte Vorgehen die Möglichkeit, die Präkonzepte der Lernenden zu dem jeweiligen Thema zu erfassen und auf diese in einem nächsten Schritt im Sinne des adaptiven Unterrichts einzugehen.

Eine weitere Bereicherung aus dem Zusammenspiel der beiden Disziplinen wurde darin gesehen, dass Kinder lernen, Wissen oder auf sie einströmende Informationen nicht bloß anzunehmen, sondern sie zunehmend auch kritisch zu hinterfragen. Gleiches trifft auf das bei

den Kindern vorliegende Vorwissen zu. Damit das aufgezeigte Zusammenspiel gelingt, benötigen Lehrpersonen jedoch ein gewisses “Handwerkszeug”, um gelungene Fragen stellen und Reize setzen zu können, welche die Kinder zum Nachdenken, Gründe sammeln und prüfen anregen. An dieser Stelle besteht großer Handlungsbedarf bei der Lehrendenaus- und -weiterbildung.

Asymmetrien beim Modellieren (Rost)

Modelle sind in den Naturwissenschaften und im naturwissenschaftlichen Unterricht ein Kernbestandteil. Bemerkenswerterweise liegt eine starke Heterogenität bei der Bearbeitung ontologischer und erkenntnistheoretischer Fragestellungen zu Modellen in den Naturwissenschaftsdidaktiken vor (Rost & Knuuttila, 2022). Eine Ursache dieser Heterogenität sind Asymmetrien bei der Frage danach, in welchem Modus ein Modell als Artefakt konstruiert wird; als Idealisierung oder als Abstraktion. Idealisierungen werden im Allgemeinen als Verzerrungen des zu modellierenden Systems aufgefasst (Winkelmann, 2023; Carrillo & Martínez, 2022), während Abstraktionen typischerweise als das Entfernen von Systemkomponenten bei gleichzeitiger Erhaltung der wesentlichen Eigenschaften des Systems im Modell verstanden werden (Carrillo & Knuuttila, 2023). Beides hat Konsequenzen für die Modellierung von naturwissenschaftlichen Sachverhalten im Unterricht.

In der Workshop-Gruppe wurde erarbeitet, dass speziell das Verhältnis von Abstraktionen und Idealisierungen eine große Herausforderung darstellt. Im Fach Chemie liegt durch den Bezug zur Teilchenebene grundsätzlich kein einfaches Bewertungskriterium dafür vor, ob ein System idealisiert oder abstrahiert dargestellt wird. Das Einfärben oder anderweitig Markieren von Kugeln zur Darstellung von Atomen in einem Molekül wäre klarerweise der Idealisierung zuzuordnen: Farbe ist eine Stoff- und keine Teilcheneigenschaft. Andererseits berücksichtigt die Darstellung eines Atoms als Kugel dessen weitere subatomare Struktur nicht und kann insofern als Abstraktion, also Reduktion auf das Wesentliche, interpretiert werden. Wenn in der Physik der schräge Wurf modelliert wird, dann ist eine quadratische Gleichung zu lösen. Eine der Lösungen ist gelegentlich die Wurzel einer negativen Zahl, die keine physikalische Entsprechung hat. Das Weglassen dieser Lösung kann nicht aus der mathematischen Modellierung selbst stammen, sondern muss als Modellannahme, bzw. Randbedingung formuliert werden. Ob es sich dabei um eine Verzerrung oder um eine Reduktion handelt, bleibt unklar, weil die Abbildung des physikalischen Prozesses auf eine mathematische Struktur weder isomorph noch vollständig reversibel (Bueno & Colvan, 2011) ist. Wenn aber diese Modellierungsprozesse derart herausfordernd sind, dann ist es zumindest nicht verwunderlich, wenn sie einerseits in den verfügbaren Lehrmitteln systematisch verkürzt dargestellt werden (Rost, 2022) und von Lernenden auch entsprechend rezipiert werden. Es besteht also fachdidaktischer Handlungsbedarf zur weiteren Suche nach Konzeptualisierungen für Modellierungsprozesse. Dafür wiederum sollte die Community weitere Kompetenzen aufbauen. Der weitere Schulterschluss mit Philosophierenden ist für diese Arbeit lohnend.

Ausblick

Nach Vorstellung der Ergebnisse aus den Workshop-Teilen wurden in der abschließenden Aussprache mehrere Punkte aus dem Diskurs zum Input-Vortrag erneut aufgegriffen: Das Nennen und Reflektieren von Gründen, um Behauptungen zu stützen, scheint eine Verbindung der Philosophie- und Naturwissenschaftsdidaktik zu kennzeichnen. Dies ist der Kern von

Vermittlungsprozessen, in denen Novizen dazu befähigt werden, sich ein Welt- respektive Wissenschaftsverständnis anzueignen. Inwiefern für diese Kompetenzentwicklung *scaffolds* aus der Zusammenarbeit der beiden Fachdidaktiken resultieren, werden zukünftige Aktivitäten der Initiative “MINT trifft Philosophie” weiter eruieren.

Literatur

- Brosow, F. (2020). Die DNA des Philosophierens: Philosophieren über Heimatverlust nach der TRAP-Mind-Theory. Zeitschrift für Didaktik der Philosophie und Ethik, 2, 64–81
- Brüning, B. (2015). Philosophieren mit Kindern: Eine Einführung in Theorie und Praxis. LIT
- Bueno, O., & Colyvan, M. (2011). An Inferential Conception of the Application of Mathematics. Noûs, 45(2), 345–374 <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1468-0068.2010.00772.x>
- Carrillo, N., & Knuuttila, T. (2022). Holistic idealization: An artifactual standpoint. Studies in History and Philosophy of Science, 91, 49–59 <https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2021.10.009>
- Carrillo, N., & Knuuttila, T. (2023). Mechanisms and the problem of abstract models. European Journal for Philosophy of Science, 13(3), 27 <https://doi.org/10.1007/s13194-023-00530-z>
- Durán, J. M. & Formanek, N. (2018). Grounds for Trust: Essential Epistemic Opacity and Computational Reliabilism. Minds and Machines, 28(4), 645–666 <https://doi.org/10.1007/s11023-018-9481-6>
- Gietz, P., Nelle, P. & Schumacher, E. (2020). Elemente Chemie. Ausgabe Nordrhein-Westfalen ab 2019, 1. Auflage. Stuttgart, Leipzig: Ernst Klett Verlag
- Goebels, A. (2018). Kleine Eulen zieht es nach Athen: Über das Philosophieren mit Grundschulkindern eine empirische Studie zur Konzeption des Unterrichtsfaches Philosophie. Barbara Budrich
- Humphreys, P. (2009). The philosophical novelty of computer simulation methods. Synthese, 169(3), 615–626
- Jaekel, K. & Rieß, F. (1979): Wissenschaftskritische Einwände gegen die Lerntheorie von Jean Piaget. In: Ewers, M. (Hrsg.): Wissenschaftstheorie und Naturwissenschaftsdidaktik. Bad Salzdetfurth: Franzbecker Didaktischer Dienst, 277–295
- Kahneman, D. (2011). Thinking, fast and slow, London: Penguin Book
- Kim, M. (2014). Der Beitrag des Philosophierens mit Kindern für Toleranz und ethische Reflexionsfähigkeit. Philosophie - ein Kinderspiel? Zugänge zur Philosophie in der Primarstufe. Tagungsband zur Fachtagung am 07. Dezember 2013 in Köln, 51–61
- Kultusministerium des Landes Nordrhein-Westfalen und Ministerium für Wissenschaft und Forschung (28.07.1978). Vorläufige Richtlinien und Lehrpläne für das Gymnasium - Sekundarstufe I in NRW Ch
- Landriscina, F. (2013). Simulation and learning: A model-centered approach. Springer
- Michalik, K. (2015). Philosophische Gespräche mit Kindern als Medium für Bildungsprozesse im Sachunterricht. In H. J. Fischer, H. Giest, & K. Michalik (Hrsg.), Bildung im und durch Sachunterricht. Verlag Julius Klinkhardt. 175–182
- Oswald, W. ([1904] 1937). Die Schule der Chemie. Erste Einführung in die Chemie für jedermann. Braunschweig: Friedr. Vieweg & Sohn
- Pfister, H.-R., Jungermann, H. & Fischer, K. (2017). Die Psychologie der Entscheidung. Eine Einführung, Berlin, Heidelberg: Springer
- Rost, M. (2022). Sind Modelle Teilchenabbildungen? Eine Analyse österreichischer Chemieschulbücher mittels Natural Language Processing. CHEMKON, 29(S1), 325–330 <https://doi.org/10.1002/ckon.202200018>
- Rost, M., & Knuuttila, T. (2022). Models as Epistemic Artifacts for Scientific Reasoning in Science Education Research. Education Sciences, 12(4), 276 <https://doi.org/10.3390/educsci12040276>
- Schleicher, A. (18.06.2024). In [Deutschlandfunk Campus & Karriere \(Hrsg.\), PISA-Sonderauswertung: Wie kreativ denken deutsche Schüler?](#)
- Seoane, M. E., Greca, I. M. & Arriasec, I. (2022). Epistemological aspects of computational simulations and their approach through educational simulations in high school. SIMULATION, 98(2), 87–102
- Sommer, K., Wambach-Laicher, J. & Pfeifer, P. (2018). Konkrete Fachdidaktik Chemie. Grundlagen für das Lernen und Lehren im Chemieunterricht. 1. Auflage, vollständige Neubearbeitung. Seelze: Friedrich Aulis.
- Streller, S., Bolte, C., Dietz, D. & La Noto D., R. (2019). Chemiedidaktik an Fallbeispielen. Anregungen für die Unterrichtspraxis. Berlin: Springer Spektrum (Lehrbuch)
- Winkelmann, J. (2023). On Idealizations and Models in Science Education. Science & Education, 277-295