

Argumente, die Wellen schlagen: Ozeanversauerung im Chemieunterricht

Einleitung

Es ist ein zentrales Ziel naturwissenschaftlichen Unterrichts, die Entwicklung einer naturwissenschaftlichen Grundbildung (Scientific Literacy) zu fördern, um Lernende zu befähigen, fundierte Entscheidungen zu treffen und sich aktiv an Diskursen zu gesellschaftlich relevanten naturwissenschaftlichen Fragestellungen (Socio-Scientific Issue, SSI) zu beteiligen (Lederman, Akerson, Bartels & Schwartz, 2024). SSIs bieten ein vielversprechendes Setting, um sowohl naturwissenschaftliche Grundbildung im Allgemeinen (Presley, Sickel, Muslu, Merle-Johnson, Witzig, Izci & Sadler, 2013) als auch das naturwissenschaftliche Argumentieren im Speziellen zu fördern (Christodoulou & Grace, 2019). Während formale Argumentation generalisierbar ist, erfordert das Argumentieren im Kontext von SSIs fachspezifisches Wissen (Tricot, 2018). Trotz einer Vielzahl an Studien zum Argumentieren innerhalb von SSIs (z.B. Erduran, Osborne & Simon, 2005; Smit, Rietz & Büchel, 2025), ist die Perspektive der Chemiedidaktik insbesondere auf Sekundarstufenniveau stark unterrepräsentiert (Christodoulou & Grace, 2019). Die im Folgenden vorgestellte Pilotstudie adressiert diese Lücke anhand chemischer Aspekte der anthropogenen Ozeanversauerung.

Forschungsfragen

- Welche fachlichen Inhalte führen Lernende in ihren Argumenten an, um die Beeinträchtigung der Kalkskelettbildung von Korallen durch die Ozeanversauerung zu begründen? (FF1)
- Inwiefern verknüpfen Lernende in ihren Argumenten (fachlich angemessen) fachliche Inhalte mit der Beeinträchtigung der Kalkskelettbildung von Korallen? (FF2)

Forschungsdesign und Methodik

Die Pilotstudie setzte Unterrichtsmaterial ein, das naturwissenschaftliches Argumentieren im Chemieunterricht zur Ozeanversauerung fördern soll. Im Rahmen der 50-minütigen Unterrichtseinheit lag der Schwerpunkt darauf, zu beobachten und zu evaluieren, wie Lernende naturwissenschaftliche Argumente formulieren und dabei das bereitgestellte Unterstützungsmaterial nutzen. 29 Lernende der 11. und 12. Schulstufe einer Allgemeinbildenden Höheren Schule in Österreich erhielten dazu eine fiktive Schlagzeile zur Beeinträchtigung der Kalkskelettbildung von Korallen.

Phase I: Die Lernenden wurden zunächst gebeten, in Einzelarbeit ein schriftliches Argument zu formulieren, das die Aussage der Schlagzeile stützt. *Phase II:* Anschließend arbeiteten die Lernenden paarweise mit ‚Argumentationsbausteinen‘, die auf dem Toulmin Schema (Toulmin, 2003) basieren und verschiedene thematische Argumentationsstränge (z.B. Kalk-Kohlensäure-Kreislauf, pH-Wert, Löslichkeit von Kohlenstoffdioxidgas in Wasser) ermöglichen. Die Lernenden wählten aus diesen Bausteinen diejenigen aus, die sie für passend hielten, und ordneten sie in einer für sie sinnvollen Struktur an. Sowohl die Anzahl als auch

die Art der Bausteine konnten frei gewählt werden. *Phase III*: Die Lernenden verfassten erneut ein Argument in Einzelarbeit – diesmal unter Verwendung der zuvor gewählten Argumentationsbausteine. In allen Phasen standen den Lernenden ‚Faktenkärtchen‘ zur Verfügung, die zentrale chemische Grundlagen aus dem Unterricht (z.B. chemisches Gleichgewicht, pH-Wert) wiederholten.

Die Argumente der Lernenden (aus Phasen I und III) wurden hinsichtlich ihrer inhaltlichen Qualität unter Nutzung der zusammenfassenden qualitativen Inhaltsanalyse (Mayring, 2022) analysiert. In drei aufeinanderfolgenden Zyklen wurde die Inter-coder-Reliabilität ermittelt, wobei eine Übereinstimmung nur dann als gegeben galt, wenn mindestens 90 % der Sequenzlänge von beiden Kodierenden identisch kodiert wurden. Die geringe Übereinstimmung im ersten Kodierzyklus ($\kappa_1 = 0.19$) resultierte vor allem aus uneinheitlich definierten Kodiereinheiten: Eine Person kodierte thematisch passende Sequenzen, die andere ganze Sätze. Beide Varianten führten zu aus dem Zusammenhang gerissenen Sequenzen, die keine fundierte Analyse ermöglichten. Durch kommunikative Validierung (Steinke, 2004) wurde die Kodiereinheit einheitlich auf ein vollständiges Argument festgelegt, woraus eine deutlich höhere Übereinstimmung in den nächsten beiden Kodierzyklen ($\kappa_2 = 0.94$; $\kappa_3 = 0.97$) folgte.

Erkenntnisse

Zur FF1 wurden die folgenden Kategorien identifiziert: Chemische Reaktionen innerhalb des Kohlenstoffkreislaufs (A), Verschiebung der chemischen Gleichgewichtslage (B), pH-Wert (C), Kalkbildung (D), Löslichkeit von Salzen (E), Umweltveränderungen und Klimawandel (F) und Sonstiges (G).

Die Häufigkeit fachlicher Inhalte, auf denen die Argumente der Lernenden basieren, variiert deutlich zwischen den Phasen I und III. In Phase I argumentieren die Lernenden häufiger über chemische Reaktionen innerhalb des Kohlenstoffkreislaufs, den pH-Wert und die Löslichkeit von Salzen, insbesondere von Calciumcarbonat. Auffällig ist, dass nahezu jedes Argument aus Phase I eine Bezugnahme auf den pH-Wert enthält, jedoch keines die Verschiebung der chemischen Gleichgewichtslage im Kalk-Kohlensäure-Kreislauf durch die vermehrte Aufnahme von Kohlenstoffdioxidgas im Meerwasser berücksichtigt. Diese Auffälligkeit könnte darauf zurückzuführen sein, dass im Unterricht zuletzt saure und basische Lösungen behandelt wurden, inklusive Ozeanversauerung. Die Auseinandersetzung mit dem chemischen Gleichgewicht lag hingegen länger zurück. In Phase III hingegen wird diese Verschiebung der Gleichgewichtslage in zehn Argumenten explizit thematisiert. Außerdem stehen Themen wie die Kalkbildung sowie Umweltveränderungen und Klimawandel stärker im Vordergrund, wobei die fachliche Tiefe der Argumente insgesamt zunimmt. Die Lernenden gehen in dieser Phase teilweise detailliert auf die zugrundeliegenden chemischen Reaktionen sowie auf die damit verbundenen Veränderungen der Konzentrationen wesentlicher Ionen (z.B. $\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$, $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$) ein. Die größere fachliche Tiefe der Argumente lässt sich auf die Verwendung des Unterstützungsmaterials zurückführen. Bemerkenswert ist dabei, dass sich nicht nur die fachliche Ausrichtung der Argumente teilweise verändert hat, sondern vor allem deren Vernetzung und inhaltliche Intensität deutlich zugenommen hat (vgl. Tabelle 1). Zusätzlich gelingt es den Lernenden in Phase III besser, fachliche Konzepte – etwa den Kalk-Kohlensäure-Kreislauf – mit der Beeinträchtigung der Kalkskelettbildung von Korallen zu verknüpfen (FF2). Fachlich nicht tragfähige Präkonzepte zeigen sich in beiden Phasen – etwa

durch die fehlende Unterscheidung zwischen der Lösung von festem Kalk und einer Zersetzungsreaktion.

	A	B	C	D	E	F	G
A	-	0	17	14	13	10	1
B	-	-	0	0	0	0	0
C	-	-	-	24	24	10	1
D	-	-	-	-	20	9	0
E	-	-	-	-	-	7	1
F	-	-	-	-	-	-	1
G	-	-	-	-	-	-	-

	A	B	C	D	E	F	G
A	-	8	3	10	3	9	0
B	-	-	2	10	2	9	0
C	-	-	-	20	19	8	1
D	-	-	-	-	19	16	1
E	-	-	-	-	-	7	1
F	-	-	-	-	-	-	0
G	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 1: Kodezusammenhänge aus Phase I (links) und Phase III (rechts)

Zentrale Erkenntnisse werden exemplarisch anhand der Entwicklung eines Arguments von Phase I zu Phase III veranschaulicht (vgl. Tabelle 2). In Phase I wird zwar auf pH-Wert, Löslichkeit von Salzen und Kalkbildung eingegangen (FF1), jedoch ohne Verknüpfung zum Problem der Beeinträchtigung der Kalkskelettbildung von Korallen. Das Argument bleibt oberflächlich: Zwar wird das Verhältnis von Oxonium- und Hydroxid-Ionen erwähnt, jedoch nicht näher ausgeführt (FF2). In Phase III werden dieselben Inhalte (FF1) deutlich vertieft: Es wird auf den Unterschied zwischen festem und gelöstem Calciumcarbonat sowie auf die Konzentration von Carbonat-Ionen eingegangen. Die chemischen Grundlagen werden nun sinnvoll mit der Beeinträchtigung der Kalkskelettbildung von Korallen verknüpft (FF2).

Phase I: Allgemein handelt es sich bei der Ozeanversauerung um die Abnahme des pH-Wertes von Meerwasser, wobei der pH-Wert trotzdem noch im basischen Bereich [sic!]. Je saurer eine Lösung ist, desto besser löslich ist das ungelöste Salz CaCO_3 , was die Kalkbildung jedoch nicht unterstützt, sondern eher verhindert. Außerdem gilt: Je saurer eine wässrige Lösung ist, desto mehr H_3O^+ Ionen sind enthalten. Basische wässrige Lösungen enthalten hingegen eine hohe Konzentration an OH^- Ionen. Da der pH-Wert jedoch noch im basischen Bereich liegt, gilt: die Anzahl an H_3O^+ Ionen ist größer als die der OH^- Ionen. (Pos. 34) Phase III: Die Kalkbildung von Korallenskeletten wird beeinträchtigt. Dabei ist wichtig zu wissen, dass Kalkbildung gelöstes CO_3^{2-} benötigt und Korallenskelette festes CaCO_3 benötigen. Wir wissen, dass der pH-Wert des Meeres sinkt, weshalb sich daraus folgern lässt, dass die Abnahme an gelösten CO_3^{2-} Ionen zu weiteren Lösungen von festem CaCO_3 führt und die Abnahme des pH-Wertes die Löslichkeit von festem CaCO_3 im Meerwasser verursacht. (Pos. 34)

Tabelle 2: Argumentationsentwicklung im Vergleich

Ausblick

In der Hauptstudie werden Unterrichtsmaterialien über Design-based Research (Bakker, 2018) entwickelt. Dann erfolgt eine zweiphasige Intervention (n≈150): Phase eins fokussiert auf chemiespezifisches Fachwissen zur anthropogenen Ozeanversauerung und deren Auswirkungen auf Korallen, woraufhin Lernende schriftliche Argumente formulieren. Phase zwei behandelt gesellschaftlich relevante Aspekte, wobei Lernende in Diskussionen Argumente entwickeln, und persönliche Handlungsoptionen formulieren – auch im Hinblick auf die Relevanz für Menschen und Ökosysteme fernab der Küsten.

Literatur

- Bakker, A. (2018). *Design Research in education. A practical guide for early career researchers*. Routledge. <https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9780203701010>
- Christodoulou, A. & Grace, M. (2019). Argumentation within societal contexts in chemistry education. In S. Erduran (Ed.), *Argumentation in Chemistry Education : Research, Policy and Practice* (pp. 197-227). Royal Society of Chemistry.
- Erduran, S., Osborne, J. & Simon, S. (2005). The role of argumentation in developing scientific literacy. In K. Boersma, M. Goedhart, O. de Jong, & H. Eijkelhof (Eds.), *Research and the Quality of Science Education* (pp. 381-394). Springer <https://doi.org/10.1007/1-4020-3673-6>
- Lederman, J. S., Akerson, V., Bartels, S. & Schwartz, R. S. (2024). Attention science educators, we have a problem: lack of global functional scientific literacy [Comment]. *International Journal of Science Education*, 1-5. <https://doi.org/10.1080/09500693.2024.2361934>
- Mayring, P. (2022). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken* (13 ed.). Beltz. https://content-select-com.uaccess.univie.ac.at/media/moz_viewer/6230dc9f-d158-4bda-a1f2-1d0db0dd2d03/language:de
- Presley, M. L., Sickel, A. J., Muslu, N., Merle-Johnson, D., Witzig, S. B., Izci, K. & Sadler, t. D. (2013). A framework for socio-scientific issues based education. *Science Educator*, 22(1), 26-32.
- Smit, R., Rietz, F. & Büchel, D. (2025). Using the socioscientific issue approach to foster secondary students' argumentation skills, science self-efficacy beliefs and science interest. *International Journal of Science Education*, 1-17. <https://doi.org/10.1080/09500693.2025.2460050>
- Steinke, I. (2004). Quality criteria in qualitative research. In U. Flick, E. von Kardorff, & I. Steinke (Eds.), *A Companion to Qualitative Research* (pp. 184-190). Rowohlt.
- Toulmin, S. E. (2003). *The uses of argument* (2 ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511840005>
- Tricot, A. (2018). Scientific reasoning as domain-specific or general knowledge. A discussion. In F. Fischer, C. A. Chinn, K. Engelmann, & J. Osborne (Eds.), *Scientific Reasoning and Argumentation. The Roles of Domain-Specific and Domain-General Knowledge* (1st Edition ed., pp. 271-277). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203731826>