

Green Chemistry Thinking Einstellung und Wissen von Chemiestudierenden

Theoretischer Hintergrund und aktueller Forschungsstand

Ein Ansatz den Herausforderungen des Anthropozäns zu begegnen, ist in der Chemie Green Chemistry (Cannon & Warner, 2011). Green Chemistry umfasst zwölf Prinzipien, welche die Synthese von chemischen Stoffen in Bezug auf Nachhaltigkeit verbessern sollen. Um Green Chemistry in die (Hochschul-)Lehre zu integrieren, wurde das Konzept Green Chemistry Thinking entwickelt. Dieses bündelt die Prinzipien von Green Chemistry nach Anastas und Warner (2000) in die Idee des Chemical Thinkings nach Sevin und Talanquer (2014) ein. Green Chemistry Thinking operationalisiert die Prinzipien von Green Chemistry über zwei Wissensfacetten. Das Wissen wird in die Facetten des deklarativen und des prozedural-epistemischen Wissens unterteilt (OECD, 2023; Osborne, 2018; Shavelson et al., 2005). Da die meisten Studien zu Green Chemistry in der Hochschullehre Implementationsstudien sind und deren Evaluationen auf Selbsteinschätzungen der Lernenden beruhen (Graham et al., 2014; Guron et al., 2016; Kennedy, 2016; Purcell et al., 2016), gibt es kaum belastbare empirische Daten zum Studierendenwissen im Bereich Green Chemistry Thinking. Erste Befunde lassen vermuten, dass das Vorwissen der Lernenden und deren umweltbezogene Einstellungen mögliche Einflussfaktoren sind (Shamuganathan & Karpudewan, 2017; Waltner et al., 2021).

Ziel und Forschungsfragen

Ziel dieses Projektes ist die Messung des Wissens von Studierenden zu Green Chemistry Thinking. Hierzu werden drei aufeinander aufbauende Meilensteine formuliert: Zunächst wird das Konzept Green Chemistry Thinking definiert und modelliert, bevor es in Form von Testinstrumenten operationalisiert wird und anschließend der Wissenstand der Studierenden im Bereich Green Chemistry Thinking erhoben wird. Zusätzlich wird eine Analyse möglicher Prädiktoren durchgeführt. Dabei fokussiert das Projekt die folgenden Forschungsfragen:

FF1: Inwiefern verfügen Chemiestudierende über Wissen im Bereich Green Chemistry Thinking?

FF2a: Inwieweit lässt sich das Vorwissen als Prädiktor auf das Wissen im Bereich Green Chemistry Thinking ermitteln?

FF2b: Inwieweit lassen sich die nachhaltigkeitsbezogenen Einstellungen als Prädiktor auf das Wissen im Bereich Green Chemistry Thinking ermitteln?

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurde in diesem Vorhaben zunächst das Konzept des Green Chemistry Thinkings formuliert, welches die Prinzipien von Green Chemistry (Anastas & Warner, 2000) mit dem Konzept des Chemical Thinkings (Sevin & Talanquer, 2014) vereint. Darauf aufbauend wurden verschiedene Testaufgaben entwickelt, mit denen zum einen das Wissen im Bereich Green Chemistry Thinking als auch die nachhaltigkeitsbezogenen Einstellungen der Studierenden gemessen werden sollen. Die

entwickelten Testinstrumente wurden im Rahmen einer Pilotstudie eingesetzt und im Anschluss evaluiert.

Entwicklung der Testinstrumente

Für die erste Pilotstudie wurden zwei Testinstrumente entwickelt: Das erste Testinstrument misst das deklarative Wissen und das zweite misst das prozedural-epistemische Wissen der Studierenden im Bereich Green Chemistry Thinking.

Für den Testteil des deklarativen Wissens wurde zunächst der Test „Ask-GCP“ von Grieger et al. (2022) ins Deutsche übersetzt und anschließend adaptiert und erweitert. Dieser Testteil dient dazu, das Wissen über die Prinzipien von Green Chemistry Thinking zu ermitteln. Hierfür wird das Wissen mit drei Items pro Prinzip erhoben. Dies ergibt eine Gesamtitemzahl von 36, alle in einem Ja/Nein-Antwortformat.

Das Testinstrument für das prozedural-epistemische Wissen umfasst 22 Items. In den Aufgabenstämmen werden eine konventionelle Synthese und ihre grünere Alternative verglichen. Das Item selbst fragt dabei in einem offenen Antwortformat nach einer Begründung dafür, warum die alternative Synthese grüner ist als die konventionelle Synthese. Für die Kontrollvariable der nachhaltigkeitsbezogenen Einstellungen wurde ein adaptierter Fragebogen u.a. nach Waltner et al. (2021) mit 18 Items mit sechsstufiger Likert-Skala eingesetzt.

Design der Pilotstudie

Um die Forschungsfragen 1 und 2b beantworten zu können, wurden die Testinstrumente zum deklarativen und prozedural-epistemischen Wissen sowie der Fragebogen zu den nachhaltigkeitsbezogenen Einstellungen pilotiert. Die Pilotstudie fand am Ende des Sommersemesters 2025 an der Universität Duisburg-Essen statt. Es haben insgesamt $N = 51$ Studierende der Studiengänge M.Sc. Chemie und Water Science sowie M.Ed. Chemie teilgenommen. Es wurde der Fragebogen zu den nachhaltigkeitsbezogenen Einstellungen mit sechsstufiger Likert-Skala, das Testinstrument zum deklarativen Wissen mit einem Ja/Nein/Ich weiß es nicht-Antwortformat und das Testinstrument zum prozedural-epistemischen Wissen in einem offenen Antwortformat eingesetzt. Der Fragebogen umfasst 18 Items und der Wissenstest zum deklarativen Wissen 36 Items. Die Items beider Erhebungsinstrumente wurden von allen Teilnehmenden beantwortet. Die 22 Items des prozedural-epistemischen Wissenstests wurden zufällig auf zehn Testhefte á fünf Items verteilt, sodass jede Testperson fünf Items beantwortet. Das offene Antwortformat des Tests zum prozedural-epistemischen Wissen soll dazu dienen authentische Studierendenantworten zu generieren, um diese anschließend in ein geschlossenes Format überführen zu können.

Erste Ergebnisse der Pilotstudie

Für den Test zum deklarativen Wissen können folgende Ergebnisse berichtet werden: Der Mittelwert der einzelnen Testpersonen liegt bei $M = 25,43$ Punkten mit einer Standardabweichung von $SD = 5,97$ Punkten bei einer maximal erreichbaren Punktzahl von 36. Das Minimum liegt bei 3 Punkten, das Maximum bei 33 Punkten. Es ergibt sich eine Range von 30 Punkten. Die Reliabilität des Tests kann mit einem Cronbach's α von .86 als gut bewertet werden (Blaž, 2021). Wird die durchschnittliche Lösungswahrscheinlichkeit der einzelnen Items betrachtet, können fünf Items mit einer Lösungswahrscheinlichkeit von über

90 % und ein Item mit einer Lösungswahrscheinlichkeit von unter 10 % als für den Test ungeeignet identifiziert werden. Auch bei den verbleibenden Items kann mit Hilfe einer Wright Map erkannt werden, dass nur vier Items in der Lage sind hohe Personenfähigkeiten zu messen.

Der Testteil zum prozedural-epistemischen Wissen wurde mit Hilfe von MAXQDA ausgewertet. Hierbei wurden die Antworten der Studierenden mit den zwölf Prinzipien von Green Chemistry codiert, um zu ermitteln, wie häufig die einzelnen Prinzipien zu Argumentationszwecken genutzt wurden. Durchschnittlich wurden die einzelnen Prinzipien $M = 52$ mal ($SD = 30$) zu Argumentationszwecken genutzt, bei einer möglichen maximalen Nutzung von 164 Fällen. Hierbei liegt das Minimum bei 12 Fällen und das Maximum bei 125 Fällen. Dies ergibt eine Range von 113 Fällen. Dabei wurde das Prinzip 3 „weniger gefährliche chemische Synthesen“ am häufigsten zu Argumentationszwecken genutzt.

Um Forschungsfrage 2b beantworten zu können, wurde ein Fragebogen zu den nachhaltigkeitsbezogenen Einstellungen pilotiert. Die Reliabilität des Fragebogens kann mit Cronbach's α von .91 als exzellent eingestuft werden (Blanz, 2021). Die eingesetzte Likert-Skala reichte von 0 („Ich stimme gar nicht zu“) bis 5 („Ich stimme voll zu“). Der durchschnittliche Wert der einzelnen Testpersonen liegt bei $M = 3,57$ Punkten mit einer Standardabweichung von $SD = 0,97$ Punkten. Das Minimum liegt dabei bei 1,00 Punkten und das Maximum bei 4,89 Punkten. Dies ergibt eine Range von 3,89 Punkten.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Masterstudierenden ein hohes deklaratives Wissen im Bereich Green Chemistry Thinking haben. Allerdings sind nicht genügend Items im Testteil des deklarativen Wissens vorhanden, welche im Bereich der höheren Fähigkeiten differenzieren können. Für den Testteil des prozedural-epistemischen Wissens fällt auf, dass es eine große Spannweite in der Häufigkeit der Nutzung der Prinzipien in den Argumentationen der Studierenden gibt. Es bleibt zu prüfen, ob dies an der Kenntnis der Studierenden der einzelnen Prinzipien liegt oder ob manche Prinzipien überdurchschnittlich oft auf die Aufgaben angewandt werden können. Das Ergebnis des Fragebogens zu den nachhaltigkeitsbezogenen Einstellungen legt nahe, dass die Masterstudierenden der chemiebezogenen Fächer hohe nachhaltigkeitsbezogene Einstellungen haben.

Ausblick

Anhand der Ergebnisse der ersten Pilotierung, werden die oben vorgestellten Testinstrumente überarbeitet und erneut pilotiert. Der Test zum deklarativen Wissen wird in ein Multiple Choice-Single Select-Format und der Test zum prozedural-epistemischen Wissen in ein geschlossenes Antwortformat überführt. Ein Vorwissenstest bezogen auf die chemischen Inhalte von Green Chemistry Thinking ist in Entwicklung. Dieser wird zusammen mit den überarbeiteten Testinstrumenten Ende 2025 pilotiert. Die Hauptstudie ist für das Sommersemester 2026 geplant. Zusätzlich findet hier eine systematische Analyse der Prädiktoren statt.

Literatur

- Anastas, P. T. & Warner, J. C. (2000). *Green chemistry*. Oxford University PressOxford.
<https://academic.oup.com/book/53104> <https://doi.org/10.1093/oso/9780198506980.001.0001>
- Blanz, M. (2021). *Forschungsmethoden und Statistik für die Soziale Arbeit: Grundlagen und Anwendungen*. Kohlhammer Verlag.
- Cannon, A. S. & Warner, J. C. (2011). The science of green chemistry and its role in chemicals policy and educational reform. *New solutions: A journal of environmental and occupational health policy: NS*, 21(3), 499–517. <https://doi.org/10.2190/NS.21.3.m>
- Graham, K. J., Jones, T. N., Schaller, C. P. & McIntee, E. J. (2014). Implementing a student-designed green chemistry laboratory project in organic chemistry. *Journal of Chemical Education*, 91(11), 1895–1900. <https://doi.org/10.1021/ed5000394>
- Grieger, K., Schiro, A. & Leontyev, A. (2022). Development of the assessment of student knowledge of green chemistry principles (ASK-GCP). *Chem. Educ. Res. Pract.*, 23(3), 531–544. <https://doi.org/10.1039/d1rp00291k>
- Guron, M., Paul, J. J. & Roeder, M. H. (2016). Incorporating sustainability and life cycle assessment into first-year inorganic chemistry major laboratories. *Journal of Chemical Education*, 93(4), 639–644. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00281>
- Kennedy, S. A. (2016). Design of a dynamic undergraduate green chemistry course. *Journal of Chemical Education*, 93(4), 645–649. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00432>
- OECD. (2023). *PISA 2025 Science Framework* (Draft).
- Osborne, J. (2018). Styles of scientific reasoning: What can we learn from looking at the product, not the process, of scientific reasoning? *Scientific Reasoning and Argumentation* (S. 162–186). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203731826-9>
- Purcell, S. C., Pande, P., Lin, Y., Rivera, E. J., Paw U, L., Smallwood, L. M., Kerstiens, G. A., Armstrong, L. B., Robak, M. T., Baranger, A. M. & Douskey, M. C. (2016). Extraction and antibacterial properties of thyme leaf extracts: Authentic practice of green chemistry. *Journal of Chemical Education*, 93(8), 1422–1427. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00891>
- Sevian, H. & Talanquer, V. (2014). Rethinking chemistry: A learning progression on chemical thinking. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 15(1), 10–23. <https://doi.org/10.1039/c3rp00111c>
- Shamuganathan, S. & Karpudewan, M. (2017). Science writing heuristics embedded in green chemistry: A tool to nurture environmental literacy among pre-university students. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 18(2), 386–396. <https://doi.org/10.1039/c7rp00013h>
- Shavelson, R. J., Ruiz-Primo, M. A. & Wiley, E. W. (2005). Windows into the mind. *Higher Education*, 49(4), 413–430. <https://doi.org/10.1007/s10734-004-9448-9>
- Waltner, E.-M., Rieß, W., Mischo, C., Hörsch, C. & Scharenberg, K. (2021). *Abschlussbericht: Bildung für nachhaltige Entwicklung–Umsetzung eines neuen Leitprinzips und seine Effekte auf Schüler/-innenseite*. <https://phfr.bsz-bw.de/frontdoor/index/index/year/2021/docid/877>