

Rita Elisabeth Krebs

Pädagogische Hochschule Niederösterreich, Campus Baden

Von der Forschung zum kreativen Unterrichtsimpuls

Wie können aktuelle Entwicklungen aus der Grünen Chemie ins Klassenzimmer übertragen werden?

DOI: <https://doi.org/10.53349/schuleverantworten.2026.i3.a704>

Grüne und Nachhaltige Chemie entwickelte sich als Reaktion auf historische Umwelt- und Gesundheitskrisen wie Silent Spring, Love Canal oder die Bhopal-Katastrophe und verfolgen das Ziel, chemische Produkte und Prozesse sicherer, ressourcenschonender und umweltverträglicher zu gestalten. Basierend auf den zwölf Prinzipien der Grünen Chemie sowie Konzepten der Nachhaltigen Chemie eröffnen sich neue Perspektiven für Forschung und kreative Lösungsansätze für die Probleme unserer Zeit. Lehrpersonen können und sollen dann aktuelle Entwicklungen aus der Forschung als Impulse in den Chemieunterricht einbauen, um zu zeigen, welche Kreativität bei Klimaschutz, Ressourcenverbrauch und Umweltverträglichkeit möglich sind – im kleinen Maß in der Schule und in großem Maß in der Forschung. Internationale Initiativen wie Beyond Benign und die österreichische Plattform Grüne Chemie unterstützen dieses Vorhaben. Anhand von einem Beispiel aus der aktuellen Forschung im Bereich Grüne Chemie wird gezeigt, wie ein ko-kreatives und kollaboratives Problemlösen zu einem Leitprinzip eines zukunftsorientierten Chemieunterrichts werden kann.

Grüne Chemie; Nachhaltige Chemie; Chemiedidaktik

Chemie hat unsere Welt in vielerlei Hinsicht positiv verändert. Sie ermöglicht medizinischen Fortschritt, stellt Materialien für unseren Alltag bereit und trägt zur Lösung technischer und gesellschaftlicher Herausforderungen bei; sie birgt aber wie jede Wissenschaft auch ihre Schattenseiten und Probleme. Wer heute über Grüne und Nachhaltige Chemie spricht, diskutiert nicht nur über neue Materialien oder nachhaltigere Verfahren, sondern auch darüber, wie aus den Folgen vergangener Entscheidungen neue Denk- und Handlungsweisen entstehen können. Im Zentrum steht ein Perspektivenwechsel: weg von der nachträglichen Begrenzung von Schäden und hin zur vorausschauenden Gestaltung chemischer Produkte und Prozesse.

Dieser Perspektivenwechsel erfordert neben naturwissenschaftlichem Wissen auch Kreativität. Denn nachhaltige Lösungen entstehen dort, wo bestehende Verfahren hinterfragt, ungewohnte Verbindungen hergestellt und alternative Möglichkeiten entworfen und erprobt werden. Genau darin liegt auch das Potenzial Grüner Chemie für den Unterricht: Aktuelle Entwicklungen aus Wissenschaft und Forschung können zum Ausgangspunkt für kreative und kollaborative Problemlöse- und Gestaltungsprozesse werden (Middlecamp et al., 2025).

Von der Krise zur kreativen Neugestaltung

1962 veröffentlichte Rachel Carson *Silent Spring*, ein Buch, das die Auswirkungen von Pestiziden wie DDT auf Ökosysteme sichtbar machte: Aufgrund der unbedachten Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln „verstummten“, ergo starben, zahlreiche Vögel (Carson et al., 2000). Auf Basis dieses Buches wurde breiter in der Öffentlichkeit diskutiert, dass chemische Stoffe langfristige Folgen für Umwelt und Gesundheit haben können. Wenige Jahre später geriet der verschmutzte Cuyahoga River in den USA weltweit in die Schlagzeilen, weil er aufgrund starker Belastung durch industrielle Abwässer Feuer fing. In Love Canal in den Vereinigten Staaten wurde sichtbar, wie unsachgemäß entsorgte Chemieabfälle ganze Wohngebiete gesundheitlich gefährden konnten und die Bhopal-Katastrophe in Indien, bei der 1984 Tausende Menschen durch austretendes Methylisocyanatgas starben, gilt bis heute als Symbol für mangelnde Sicherheitskultur in der chemischen Industrie (Beyond Benign, 2026b).

Aus solchen Ereignissen entstand die grundlegende Frage, wie Chemie nicht nur sicherer für Lebewesen und Umwelt werden kann, sondern auch wie Ressourcen geschont, Kreislaufwirtschaft priorisiert und Abfälle reduziert werden können. Kurz: Wie können wir Chemie anders denken? Eine mögliche Antwort auf diese Frage formulierten Paul Anastas und John Warner in den 1990ern mit den zwölf Prinzipien der Grünen Chemie (Anastas et al., 1998). Ziel der Grünen Chemie war nicht mehr Schadensbegrenzung nach Umweltkatastrophen, sondern Prävention vor ihrer Entstehung: weniger gefährliche Stoffe, erneuerbare Rohstoffe, geringerer Energieeinsatz, Abfallvermeidung und sichere chemische Prozesse. Grüne Chemie kann damit auch als kreative Gestaltungsaufgabe verstanden werden. Nicht nur die Frage „Wie funktioniert dieser chemische Prozess?“ ist entscheidend, sondern ebenso: „Wie könnte er anders funktionieren?“

Eng damit verbunden – und zugleich breiter gefasst – ist das Konzept der Nachhaltigen Chemie. Die OECD (1998, S. 204) definierte Nachhaltige Chemie als „design, manufacture, and use of environmentally benign chemical products and processes that prevent pollution, reduce or eliminate the use and generation of hazardous waste, and reduce risk to human health and the environment“. Nachhaltige Chemie umfasst nicht nur die Entwicklung sicherer Stoffe und Prozesse, sondern auch deren Herstellung, Nutzung und gesellschaftliche Auswirkungen.

Für den Chemieunterricht eröffnet diese Perspektive einen entscheidenden Mehrwert: Chemie wird nicht nur als naturwissenschaftliche Disziplin sichtbar, sondern sie erfüllt nun auch

den gesellschaftlichen Auftrag, bestehende Prozesse zu überdenken und mit Kreativität und Einfallsreichtum neue Wege zu eröffnen.

Grüne Chemie schafft Raum für innovative Problemlösung

In einem Chemieunterricht, der die Prinzipien der Grünen Chemie sowie die Anforderungen der Nachhaltigen Chemie berücksichtigt, rückt daher nicht ausschließlich die eine richtige Antwort in den Mittelpunkt. Lernende können vielmehr mit offenen Problemstellungen konfrontiert werden, unterschiedliche Lösungswege entwickeln, Ideen prüfen, verwerfen und weiterentwickeln und dabei an komplexen Herausforderungen wachsen (Krebs & Thill, 2026). Die Lehrperson übernimmt demnach die Rolle einer Führungskraft im Sinne des Sustainability Leadership; kollaborative Reflexions- und Gestaltungsprozesse stehen hier im Vordergrund zur Gestaltung von generationengerechten und nachhaltigen Zukünften (Bierwisch et al., 2026).

Anknüpfungspunkte dafür bietet die aktuelle Forschung in großer Zahl. Angesichts globaler Herausforderungen wie Klimawandel, Biodiversitätsverlust, geopolitischer Instabilität und pandemischer Entwicklungen gewinnen Fragen nachhaltiger Transformation in Wissenschaft und Forschung zunehmend an Bedeutung (Middlecamp et al., 2025). Nachhaltigkeitsorientierte Forschungsprogramme werden verstärkt gefördert, insbesondere dort, wo innovative und einfallsreiche Lösungsansätze zur Bewältigung ökologischer und gesellschaftlicher Herausforderungen entwickelt werden. Orientierung bieten dabei internationale Referenzrahmen wie die 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung der United Nations-Agenda 2030 (UNRIC, o. J.) sowie Futures Literacy (Bierwisch et al., 2026) und Ansätze von der Friedensbildung und transformativen Bildung (Wintersteiner et al., 2023), die ökologische, soziale und ökonomische Nachhaltigkeit integrativ zusammendenken. Gemeinsam ist diesen Ansätzen, dass Lernende nicht nur Wissen über gegenwärtige Herausforderungen erwerben, sondern Möglichkeiten erkunden, Perspektiven wechseln und alternative (wünschenswerte und friedliche) Zukünfte entwerfen. Kreativität wird damit nicht zum dekorativen Zusatz des Fachunterrichts, sondern zu einer Kompetenz für den Umgang mit komplexen Nachhaltigkeitsproblemen.

Was Grüne Chemie über zukunftsfähige und kreative Führung lehren kann

Die Entwicklung Grüner Chemie zeigt eindrucksvoll, dass nachhaltige Innovation selten aus der bloßen Optimierung bestehender Routinen entsteht, sondern dort, wo Offenheit für neue Denkweisen und Kreativität, interdisziplinäre Zusammenarbeit und der Mut zusammentreffen, bestehende Routinen zu hinterfragen und neue Lösungswege zu erproben. Internationale Initiativen der Grünen Chemie zeigen, wie solche Transformationsprozesse systematisch unterstützt werden können. Programme wie *Beyond Benign*, mitbegründet von John Warner,

stellen Lehrpersonen weltweit Materialien, Fortbildungen und Curricula zur Verfügung und verstehen Lehrpersonen explizit als Betreiber*innen des Wandels, indem sie nachhaltigkeitsbezogene Denkweisen auf kreative und innovative Weise in den Chemieunterricht tragen (Beyond Benign, 2026a). Im Rahmen des *Green Chemistry Commitment* werden Hochschulen und Bildungseinrichtungen darin unterstützt, Kompetenzen wie toxikologisches Verständnis, nachhaltiges Problemlösen und gesellschaftliche Verantwortung systematisch in die Ausbildung zu integrieren. Auch in Österreich entstehen zunehmend Strukturen, die eine solche Führungs- und Lehrkultur unterstützen. Die *Plattform Grüne Chemie – Zukunft:Chemie*, initiiert aus dem *Dialog für den Wandel* des Umweltbundesamts und des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Klima- und Umweltschutz, Regionen und Wasserwirtschaft (BMLUK), schafft Räume für Austausch zwischen Wissenschaft, Bildung, Industrie und Gesellschaft (Umweltbundesamt, 2026). Neben Forschungsimpulsen entstehen aus den Arbeiten der Plattform-Mitgestalter*innen Unterrichtsmaterialien für Primar- und Sekundarstufe, Fortbildungen für Lehrpersonen sowie Studienangebote wie der interdisziplinäre Master *Green Chemistry* von Universität Wien, Technischer Universität Wien und Universität für Bodenkultur Wien.

Darin zeigt sich ein wesentliches Merkmal von Innovation: Aus einer zunächst visionär erscheinenden Idee – Chemie von Beginn an nachhaltiger zu gestalten – entstehen durch gemeinsames Weiterdenken Netzwerke, Forschungsfragen, Bildungsangebote und konkrete Veränderungsprozesse. Diese Entwicklung kann auch für den Chemieunterricht Vorbild sein.

„Cation Sampling“: Wenn scheinbar Unmögliches zum Ausgangspunkt wird

Wie eng chemische Innovation und kreatives Denken miteinander verbunden sein können, zeigt auch die Forschung des Chemikers Nuno Maulide an der Universität Wien. Sein Team entwickelte neue Wege, chemische Reaktionen effizienter und nachhaltiger zu steuern, und zwar nicht durch Kontrolle einzelner Prozessschritte, sondern durch ein gezieltes Arbeiten mit scheinbar unzugänglichen Teilchen: Beim „cation sampling“ werden selektiv Bindungen zwischen Kohlenstoffatomen und Wasserstoffatomen in komplexen Molekülen ausgewählt und modifiziert, wobei diese bis dato nicht oder nur unter Aufwendung von teuren Katalysatoren zu verändern waren (Maulide, 2026; Spieß et al., 2026).

Diese Haltung lässt sich auch auf Unterricht übertragen: Lehrpersonen müssen nicht jeden Schritt und jedes Ergebnis vorgeben. Sie können vielmehr Bedingungen schaffen, unter denen Lernende eigene Fragen entwickeln, Ideen kombinieren, ungewöhnliche Lösungswege ausprobieren und auch zunächst wenig realistisch erscheinende Möglichkeiten untersuchen. Kreative Problemlöseprozesse werden so zu kleinen Stellschrauben, die neue Perspektiven auf Umwelt- und Nachhaltigkeitsfragen eröffnen können.

Mut zur Idee: Grüne Chemie kreativ weiterdenken

Grüne Chemie ist kein Zusatzthema für besonders engagierte Lehrpersonen, sie verändert den Blick auf Chemie grundsätzlich. Sie fordert dazu auf, Chemie nicht nur als Wissenschaft

zur Beschreibung und Erklärung der Welt zu verstehen, sondern auch als Möglichkeit, diese Welt verantwortungsvoll mitzugestalten. Für Lehrpersonen bedeutet das nicht, auf jede komplexe Nachhaltigkeitsfrage bereits eine fertige Antwort haben zu müssen. Vielmehr können sie aktuelle Forschung, Initiativen wie die *Plattform Grüne Chemie – Zukunft:Chemie* und konkrete Innovationen aus der chemischen Forschung als Impulse nutzen, um gemeinsam mit Lernenden Fragen zu stellen: Was könnte anders sein? Welche Alternativen sind denkbar? Welche Idee wurde bislang noch nicht ausprobiert? Und wie können wir beurteilen, ob eine neue Lösung tatsächlich nachhaltiger ist? Gerade weil Nachhaltigkeitsfragen fachlich anspruchsvoll, komplex und häufig nicht eindeutig lösbar sind, bieten sie einen besonders gehaltvollen Raum für kreatives Lernen. Ideen dürfen entstehen, verändert, verworfen und neu zusammengesetzt werden. Fachwissen bleibt dabei unverzichtbar, es wird jedoch nicht zum Endpunkt des Lernens, sondern zum Werkzeug, mit dem neue Möglichkeiten entwickelt und kritisch geprüft werden können. So verstanden verbindet Grüne Chemie naturwissenschaftliches Lernen mit Kreativität, Verantwortung und Gestaltungskompetenz. In einer Welt, in der viele der großen Herausforderungen noch keine fertigen Lösungen haben, brauchen Lernende daher nicht nur Wissen über das, was ist. Sie brauchen auch die Kreativität, sich vorzustellen, was anders sein könnte und das fachliche Wissen, um daraus tragfähige Lösungen zu entwickeln. Denn: In einer Welt mit so vielen Herausforderungen wollen und sollen wir alle Teil der Lösung sein.

Literaturverzeichnis

Anastas, P. T., Warner, J. C. & Warner, J. C. (1998). *Green chemistry: Theory and practice*. Oxford University Press.

Beyond Benign. (2026a). *Beyond Benign*. <https://www.beyondbenign.org/>

Beyond Benign. (2026b). Historical Impacts of the Chemical Industry. *An Introduction to Undergraduate Green Chemistry Teaching & Practice*.
<https://courses.beyondbenign.org/courses/entire-course-an-introduction-to-undergraduate-green-chemistry-teaching-practice/lessons/historical-impact-of-the-chemical-industry-and-history-of-green-chemistry/>

Bierwisch, A., Capatu, I., Krebs, R. E., Pattermann, J., Sippl, C., Som, O., Tengler, K. & Vögele, J. (2026). *FuturesComp: Referenzrahmen für Futures Literacy in der Hochschulbildung*. MCI, PH NÖ, BMFWF.
<https://doi.org/10.53349/oa.2025.a2.200>

Carson, R., Shackleton, Huxley, J. & Lear, L. (2000). *Silent spring* (Reprinted). Penguin.

Krebs, R. E. & Thill, M. (2026). Führungskultur im nachhaltigen Chemieunterricht: Grüne Chemie als Kontext schafft neue Rollen für Lehrpersonen und Lernende. *#schuleverantworten*, 6(2).
<https://doi.org/10.53349/schuleverantworten.2026.i2.a689>

Maulide, N. (2026). *Controlling chemical reactions more efficiently and sustainably*.
<https://www.univie.ac.at/en/news/press-room/press-releases/detail/controlling-chemical-reactions-more-efficiently-and-sustainably>

Middlecamp, C. H., Kirchhoff, M. M., Mahaffy, P. & Kümmerer, K. (Hrsg.). (2025). *Chemistry Education for a Sustainable Future*. Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/9781837676576>

OECD. (1998). *Proceedings of the OECD workshop on sustainable chemistry part 3* (S. 107). OECD. [https://one.oecd.org/document/ENV/JM/MONO\(99\)19/PART3/en/pdf](https://one.oecd.org/document/ENV/JM/MONO(99)19/PART3/en/pdf)

Spieß, P., Vavřík, M., Frey, J., Vezonik, U., Kaiser, D. & Maulide, N. (2026). Cation Sampling Enables Regiodivergent Distal Functionalization of Ketones. *Journal of the American Chemical Society*, jacs.6c05299. <https://doi.org/10.1021/jacs.6c05299>

Umweltbundesamt. (2026). *Plattform Grüne Chemie in Österreich*. <https://www.gruenechemieoesterreich.at/aktivitaeten-oesterreich>

UNRIC. (o. J.). *Die 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung*. Abgerufen <https://unric.org/de/17ziele/>

Wintersteiner, W., Glettler, C., Grobbauer, H., Peterlini, H. K., Rauch, F. & Steiner, R. (2023). *Transformative Bildung, Global Citizenship Education und Bildung für Nachhaltige Entwicklung. Eine Erkundung*. Österreichische UNESCO-Kommission.

Autorin

Rita Elisabeth Krebs, Mag. Dr. BA

Promovierte Chemiedidaktikerin, seit Herbst 2024 Mitarbeiterin am UNESCO-Lehrstuhl „Futures Literacy“ an der Pädagogischen Hochschule Niederösterreich sowie Lehrende an der Universität Wien. Schwerpunkte in Lehre und Forschung: Anthropozän, Sprachbildung, Naturwissenschaftsdidaktik, Nachhaltigkeit.

Kontakt: rita.krebs@ph-noe.ac.at