

Positionspapier: Lehren und Lernen über „Grüne und Nachhaltige Chemie“ in der Schule

Univ.-Prof. Dr. Anja Lembens, Universität Wien, AECC Chemie

Die Herausforderungen

Gegenwärtig sind wir auf unserer Erde mit Klimawandel, Umweltbelastungen und gesundheitlichen Herausforderungen konfrontiert, die u. a. durch vom Menschen verbreitete Stoffe und Produkte verursacht werden. Um den Lebensraum Erde für künftige Generationen zu erhalten, sind einerseits die Entwicklung und der Einsatz nachhaltiger Technologien notwendig. Denn es ist Aufgabe der chemischen Industrie, sichere Stoffe und nachhaltigere Herstellungsprozesse zu entwickeln. Andererseits muss jeder einzelne Mensch über Wissen und Fähigkeiten verfügen, um informiert, nachhaltig und verantwortungsbewusst handeln zu können, denn nach der Herstellung der Produkte, liegt es in den Händen der Verbraucher:innen, wie die Produkte genutzt und entsorgt werden. Menschen ohne eine angemessene naturwissenschaftliche Bildung sind kaum in der Lage, solche informierten Entscheidungen zu treffen und danach zu handeln. Daher muss schulische Bildung schon frühzeitig geeignete Lerngelegenheiten bereitstellen, um solche Kompetenzen zu entwickeln (Lembens et al., 2022).

Internationale Anstrengungen für Grüne Chemie und Nachhaltige Entwicklung

Im September 2015 wurde von der Generalversammlung der Vereinten Nationen (UNESCO) die globale Nachhaltigkeitsagenda 2030 verabschiedet, in der 17 Ziele für eine nachhaltige Entwicklung aufgeführt sind. In Ziel 4 geht es darum, allen Menschen eine inklusive, chancengerechte und hochwertige Bildung sowie Gelegenheiten zum lebenslangen Lernen zu ermöglichen (UNESCO 2016, S. 1). Bis 2030 soll unter anderem sichergestellt werden, dass „alle Lernenden die für nachhaltige Entwicklung notwendigen Kenntnisse und Fähigkeiten erwerben, ...“ (UNESCO 2016, S. 8). Kenntnisse und Fähigkeiten, die notwendig sind, um nachhaltige Entwicklungen zu verstehen und entsprechend zu handeln, umfassen ein breites Spektrum, das neben sozialen, kulturellen und ethischen Dimensionen auch naturwissenschaftliche und technische umfasst. In diesem Zusammenhang sollten Bürger:innen unter anderem auch wissen, was Chemie mit Nachhaltigkeit zu tun hat und welche Beiträge durch chemische Forschung und Entwicklungen dazu geleistet werden.

Der im Jahr 2019 publizierte Global Chemicals Outlook II (GCO II) bezieht sich explizit auf die Agenda 2030 und setzt ganz konkrete Maßnahmen fest, um beim Umgang mit Chemikalien, chemischen Prozessen und Produkten größtmögliche Sicherheit für Mensch und Umwelt zu erreichen. Im Vorwort betont Joyce Msuya „*We cannot live without chemicals. Nor can we live with the consequences of their bad management*“ (GCO II, v). Dieses „Management“ muss einerseits von Stakeholdern in den unterschiedlichsten Verantwortungsbereichen betrieben werden, andererseits sind auch Verbraucher:innen in der Verantwortung. Echte Fortschritte werden ohne ernsthafte Anstrengungen im Bildungsbereich kaum möglich sein. So wird im GCO II explizit betont, „*Consumer demands, as well as green and sustainable chemistry education [...] are among the important drivers of change*“ (GCO II, vii).

Grüne und Nachhaltige Chemie gehört in den schulischen Unterricht für alle Lernenden

Was sollte Ziel naturwissenschaftlicher Bildung sein? Sadler beantwortet diese Frage mit der Aussage, es gehe darum, zukünftige Bürger:innen vorzubereiten (Sadler, 2011, S. 1). Das sieht auch die OECD so und formuliert im neue Rahmenkonzept für die PISA-Erhebung 2025 die Kompetenz: „*Research, evaluate, and use scientific information for decision making and action*“. Noch konkreter wird es in der Beschreibung einer der Teilkompetenzen: „*Justifying decisions using scientific arguments, either individual or communal, that contribute to solving contemporary issues or sustainable development*“. Mit Blick auf die chemische Aspekte ist an dieser Stelle hervorzuheben, dass Chemikalien und Produkte der chemischen Industrie nicht nur von Chemiker:innen oder Chemiestudierenden verwendet werden, sondern aus unserem Alltag nicht wegzudenken sind. Wissen über Produkte und deren Herstellungsprozesse hilft Bürger:innen, deren Verwendung kritisch zu reflektieren und möglicherweise zu vermeiden. Ob Menschen informiert und verantwortungsvoll mit Produkten aller Art umgehen, hängt in hohem Maße von einer angemessenen Bildung ab (Mammino, 2015, S. 2).

Und das bedeutet, dass es für alle Lernenden, auch diejenigen, die keine tertiäre chemische Bildung anstreben oder diejenigen, die die Schule nach der Pflichtschule verlassen, entsprechende Bildungsinhalte und Lerngelegenheiten geben muss (vgl. Eilks & Linkwitz, 2022).

Da es insbesondere darum geht, dass (zukünftige) Bürger:innen informierte und verantwortungsvolle Entscheidungen treffen und verstehen sollen, können die Inhalte und Ausgangspunkte solcher Lerngelegenheiten keine reinen Fachinhalte sein (vgl. Mahaffy, 2015; Sjöström, 2013; Sjöström et al., 2016; Zowada et al., 2020). Vielmehr braucht es authentische und motivierende Kontexte, in denen darüber gelernt werden kann, was grüne und nachhaltige Chemie ist, welche grünen Alternativen zu herkömmlichen Verfahren gibt und anhand welcher Kriterien man diese bewerten kann. In der fachdidaktischen Literatur werden solche Kontexte als ‚socio-scientific issues‘ bezeichnet. Ebenso wichtig ist es, bei allen Lernenden ein Bewusstsein für die positiven wie negativen Auswirkungen eigener Entscheidungen und Handlungen bei der Verwendung von Alltagsprodukten zu schaffen.

Eilks und Linkwitz (2022) empfehlen bei Lernenden in der Primarstufe zunächst das Bewusstsein für nachhaltiges Handeln in ihrer persönlichen Umwelt zu stärken. In der Sekundarstufe I können Themen der grünen und nachhaltigen Chemie über aktuelle Kontexte und socio-scientific issues eingeführt und diskutiert werden. Die beiden Autoren empfehlen darauf aufbauend für die Sekundarstufe II eine explizite Auseinandersetzung mit der Philosophie und den Prinzipien grüner und nachhaltiger Chemie. So kann das Lernen chemischer Inhalte und Konzepte mit dem Lernen über Chemie und der Auseinandersetzung mit sozialen und ethischen Aspekten menschlichen Handelns Hand in Hand gehen. Auf diese Weise können die Lernenden angemessene Vorstellungen von den Anwendungen, Herausforderungen und Beiträgen moderner Chemie zu Nachhaltigkeitsaspekten entwickeln und sich an diesbezüglichen gesellschaftlichen Diskursen informiert beteiligen.

An dieser Stelle sei hervorgehoben, dass die zwei Wochenstunden in der Sekundarstufe I und die vier Wochenstunden in der Sekundarstufe II der allgemeinbildenden höheren Schulen ohnehin schon sehr knapp bemessen sind. Es wird also eine echte Herausforderung sein, Lerngelegenheiten zum Erwerb der oben beschriebenen Kompetenzen und Inhalte innerhalb dieser Zeit angemessen unterzubringen. Bei zukünftigen Lehrplanrevisionen sollte dringend über eine Erhöhung der Wochenstundenzahl für das Fach Chemie an den allgemeinbildenden höheren Schulen nachgedacht werden.

Wie passt das Thema „Grüne und Nachhaltige Chemie“ in die Lehrpläne?

Sachunterricht Primarstufe (neuer Lehrplan ab 2023)

Im neuen ab Frühjahr 2023 in Kraft getretenen Lehrplan für den Sachunterricht in der Primarstufe finden sich zahlreiche sehr konkrete Bildungsziele, bei denen Aspekte grüner und nachhaltiger Chemie eine relevante Rolle spielen sollten. Der Sachunterricht wird dort als zentraler Unterrichtsgegenstand definiert, der *„die Auseinandersetzung mit den überfachlichen Themen im Sinne einer globalen Verantwortung und Bildung für nachhaltige Entwicklung“* zur Aufgabe hat. Als übergreifende Themen sind z. B. „Umweltbildung“ und „Verbraucher:innenbildung“ verbindlich im Unterricht aufzugreifen. Ziel ist es, dass die Lernenden Verantwortung übernehmen und erkennen, dass *„jeder Handlung eine Entscheidung vorausgeht, die auf einer Einschätzung, Bewertung oder Beurteilung basiert“*.

Weiter konkretisiert werden diese Bildungsziele anhand der zentralen fachlichen Konzepte für den Sachunterricht, z. B. „Lebewesen oder Gegenstände wirken aufeinander, beeinflussen sich wechselseitig und verändern damit ihren Zustand. Der Mensch ist im Zuge der sich beschleunigenden Globalisierung immer enger verflochten mit der physischen, sozialen, wirtschaftlichen, naturwissenschaftlichen, historischen und politischen Umwelt“.

In den sozial-, natur- und wirtschaftswissenschaftlichen Kompetenzbereichen des Lehrplanes wird formuliert, welche Kompetenzen die Lernenden im Verlauf der Primarstufe erwerben sollen, um für die *„aktive Teilnahme am gesellschaftlichen Leben“* und die *„Teilhabe an demokratischen Prozessen“* vorbereitet zu sein sowie *„Verantwortung für sich, die Gemeinschaft und ihre Umwelt“* zu übernehmen.

Im Lehrplan wird ausdrücklich betont, dass es für den „verantwortungsvollen Umgang mit der unbelebten und belebten Natur das Verständnis biologischer, physikalischer, chemischer und ökologischer Zusammenhänge“ braucht, damit die Lernenden „Orientierungs-, Urteils-, Entscheidungs- und Handlungsfähigkeit für ihre Rolle als Verbraucher/innen“ entwickeln können.

In den Kompetenzbeschreibungen für die 1. bis 4. Schulstufe ist konkretisierend festgehalten, dass die Lernenden:

„... sich als aktive Konsumentinnen und Konsumenten wahrnehmen“,

„... Zusammenhänge von Produktion, Handel und Konsum erkennen“,

... Gründe und Kriterien für Konsumententscheidungen bewerten“,

„... die Bedeutung eines bewussten Handelns für Umweltschutz und Nachhaltigkeit erklären und das eigene Konsumverhalten reflektieren“ können sollen.

Fazit:

Der neue Lehrplan für den Sachunterricht in der Primarstufe verpflichtet die Lehrenden im besonderen Maße, die Lernenden zu informierten und verantwortungsvoll handelnden Personen zu erziehen und ihnen die notwendigen Kompetenzen mitzugeben, auf denen in den weiterführenden Schulen aufgebaut werden kann. Insofern ist es notwendig und sinnvoll, ausgewählte Aspekte grüner und nachhaltiger Chemie, altersangemessen für die Lernenden erfahrbar zu machen. Hier gilt es entsprechende Materialien zu entwickeln und zu evaluieren sowie ein längerfristig angelegtes Fortbildungsprogramm für Lehrpersonen zu implementieren. Die Lehrpersonen dürfen mit dieser verantwortungsvollen und voraussetzungsreichen Aufgabe nicht allein gelassen werden.

Chemie Sekundarstufe I (neuer Lehrplan ab 2023)

Im Gegensatz zum Lehrplan für den Sachunterricht in der Primarstufe, der viele verschiedene Teildimensionen beinhaltet, fokussiert der Lehrplan Chemie in der Sekundarstufe I ausschließlich auf chemische Aspekte. Ein weiterer Unterschied ist, dass das Fach Sachunterricht in der Primarstufe in jedem der vier Schuljahre drei Wochenstunden (für alle Teildimensionen) umfasst, das Fach Chemie in der Sekundarstufe I dagegen mit zwei Wochenstunden ausschließlich in der achten Schulstufe unterrichtet wird (in wirtschaftskundlichen Realgymnasien insgesamt vier Wochenstunden in der siebten und achten Schulstufe). Bei der knapp bemessenen Zeit ist es eine Herausforderung, den Lernenden in der Sekundarstufe I eine angemessene chemische Grundbildung mit auf den Weg zu geben.

Die Ziele des im neuen ab Frühjahr 2023 inkraftgetretenen Lehrplans für die Sekundarstufe I sind vielfältig. Im allgemeinen Teil wird betont, dass die Lernenden in eine zunehmend komplexer werdende und von „großen gesellschaftlichen Herausforderungen und Umbrüchen prägen die Welt“ hineinwachsen. In diesem Zusammenhang werden zahlreiche globale Schlüsselthemen aufgezählt, von denen hier Klimawandel, Energieversorgung und Ressourcenverknappung hervorgehoben werden sollen. Aus diesem Grund muss „Schule die Schülerinnen und Schüler darauf vorbereiten, mit stetig wachsenden ökonomischen, technischen, ökologischen, moralischen, religiösen, politischen, wissenschaftlichen und kulturellen Spannungsfeldern und komplexen, oft widersprüchlichen gesellschaftlichen Entwicklungen umgehen zu können“. Folgerichtig wurden übergreifende Themen definiert, die wesentliche gesellschaftliche Aspekte abbilden und verpflichtend in den einzelnen Fächern aufzugreifen sind. Im Zusammenhang mit Aspekten der grünen und nachhaltigen Chemie sind insbesondere die übergreifenden Themen „Umweltbildung“ und „Wirtschafts-, Finanz- und Verbraucher:innenbildung“ zu hervorzuheben.

In der Bildungs- und Lehraufgabe für das Fach Chemie wird betont, dass „chemische Phänomene und Vorgänge [...] wesentliche Bestandteile des täglichen Lebens [sind]“ und daher „ein angemessenes naturwissenschaftliches Verstehen [...] essenziell für gesellschaftliche Teilhabe“ ist. Durch den Chemieunterricht sollen die Lernenden befähigt werden, „Entscheidungen naturwissenschaftlich begründet zu treffen, Produkte und Ressourcen nachhaltig zu nutzen und verantwortungsbewusst zu handeln“ sowie „an gesellschaftsrelevanten naturwissenschaftlichen Diskussionen und Entscheidungsprozessen“ teilzunehmen.

Um dies leisten zu können, werden konkrete Kompetenzen benannt, von denen für dieses Positionspapier insbesondere der Kompetenzbereich „Standpunkte begründen, Entscheidungen treffen und reflektiert handeln (S)“ relevant ist. Hier ist definiert, welche Kompetenzen die Lernenden am Ende der Sekundarstufe I erworben haben sollen:

- „Informationen aus verschiedenen Quellen aus naturwissenschaftlicher Sicht bewerten und Schlüsse daraus ziehen.
- Fachlich korrekt und folgerichtig argumentieren und naturwissenschaftliche von nicht-naturwissenschaftlichen Argumentationen und Fragestellungen unterscheiden.
- Bedeutung, Chancen und Risiken der Anwendungen von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen für sich persönlich und für die Gesellschaft erkennen, um verantwortungsbewusst zu handeln.“

Ausgewählte Aspekte der grünen und nachhaltigen Chemie bieten sich an, um die Lernenden anhand aktueller und authentischer Anwendungsbereiche auf ihre Rolle als informierte und verantwortungsvoll handelnde Bürger:innen vorzubereiten. Ziel ist es, dass alle Lernenden den sicheren „Umgang mit Chemikalien im chemischen Labor sowie im Alltag“ beherrschen und sich der „Bedeutung der Chemie für Alltag, Wirtschaft, Gesundheit und Umwelt sowie [der] damit

verbundene[n] Verantwortung für eine nachhaltige Zukunft“ bewusstwerden.

Fazit:

Der neue Lehrplan für Sekundarstufe I im Allgemeinen und für das Fach Chemie im Besonderen, baut auf den in der Primarstufe erworbenen Kompetenzen der Lernenden auf. Die Lehrenden haben die Aufgabe, Lerngelegenheiten bereitzustellen, in denen die Lernenden ihre Kompetenzen und ihr Wissen stetig erweitern und in lebensnahen Kontexten anwenden und üben können, um zu informierten und verantwortungsvoll handelnden Personen heranzuwachsen.

Ausgewählte Aspekte grüner und nachhaltiger Chemie bieten hervorragende Anknüpfungspunkte, um die oben beschriebenen Ziele anzubahnen. Allerdings hatten oder haben die wenigsten Lehrpersonen bereits im Studium die Gelegenheit, entsprechende fachliche und methodische Kenntnisse zu erwerben. Aus diesem Grund ist es auch für die Sekundarstufe I notwendig, entsprechende Materialien zu entwickeln und zu evaluieren sowie ein längerfristig angelegtes Fortbildungsprogramm für Lehrpersonen zu implementieren. Die Lehrpersonen dürfen mit dieser verantwortungsvollen und voraussetzungsreichen Aufgabe nicht allein gelassen werden.

Chemie Sekundarstufe II (gültiger Lehrplan von September 2018)

Der Lehrplan der Sekundarstufe II sieht für den Chemieunterricht insgesamt mindestens vier Wochenstunden vor, meist je zwei in der elften und zwölften Schulstufe (im Realgymnasium sind es insgesamt mindestens fünf Wochenstunden). Dadurch entsteht normalerweise zwischen dem Chemieunterricht in der achten Schulstufe der Sekundarstufe I und der Sekundarstufe II ein Loch von zwei Jahren beim Chemielernen. Die logische Folge ist, dass die Schüler:innen das meiste aus der Sekundarstufe I wieder vergessen haben. Dies ist nicht nur aus lernpsychologischen Gründen problematisch, sondern auch mit Blick auf verpasste Chancen zum Aufbau einer auf chemischen Kenntnissen und Kompetenzen beruhenden Urteils- und Handlungskompetenz.

In der Bildungs- und Lehraufgabe des Chemielehrplanes für die Sekundarstufe II wird unter anderem hervorgehoben, dass die Lernenden „*Einblick in die Vielgestaltigkeit und Omnipräsenz chemischer Prozesse*“ gewinnen sollen, um „*stoffliche Veränderungen als materielle und energetische Grundlage des Lebens und der Zivilisation*“ zu erkennen. Dadurch sollen die Lernenden

„Verantwortungsbewusstsein und Kritikfähigkeit gegenüber Ge- und Missbrauch wissenschaftlicher Erkenntnisse“ entwickeln, was als Grundlage für eine verantwortungsvolle „Teilhabe an wesentlichen gesellschaftlichen Entscheidungen“ anzusehen ist. Des Weiteren ist im Lehrplan Chemie formuliert, dass ein Bewusstsein für die „Verantwortung für den nachhaltigen Umgang mit materiellen und energetischen Ressourcen“ unter „Berücksichtigung ethischer Maßstäbe in der gesellschaftsrelevanten Umsetzung chemischer Erkenntnisse“ entwickelt werden soll. Dies geschieht auf der Grundlage von „Kenntnisse[n] über Funktion und Vernetzung natürlicher und anthropogener Stoffkreisläufe“. Ein Unterricht, der auf den Erwerb solcher Kompetenzen ausgerichtet ist, geht idealerweise von „realistische[n] und relevante[n] Probleme[n]“ aus, „die dazu motivieren neues Wissen und neue Fähigkeiten zu erwerben“.

Um dies leisten zu können, werden konkrete Kompetenzen benannt, von denen für dieses Positionspapier insbesondere der Kompetenzbereich „*Konsequenzen ziehen: Bewerten, Entscheiden, Handeln*“ relevant ist. Folgende Kompetenzen sollen die Lernenden am Ende der Sekundarstufe II erworben haben:

- „Untersuchungsergebnisse im Hinblick auf eine konkrete Frage, Vermutung oder

Problemstellung kritisch betrachten

- Fachlich begründete Bewertungskriterien wiedergeben
- Konkurrierende Interpretationsmöglichkeiten gegeneinander abwägen und auf dieser Basis Entscheidungen treffen
- Bedeutung, Chancen und Risiken der Anwendungen von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen für sich persönlich und für die Gesellschaft einschätzen
- Entscheidungen in gesellschaftlich relevanten Fragen aus naturwissenschaftlicher Sicht begründen und bewerten“

Aspekte grüner und nachhaltiger Chemie sind hier zwar nicht direkt angesprochen, schwingen jedoch in all diesen Kompetenzbeschreibungen mit. In der Inhaltsdimension des Kompetenzmodelles, wird der Lehrstoff konkretisiert. Wobei sich im sechsten und siebten Semester¹ die meisten Anknüpfungspunkte für die Verknüpfung mit aktuellen Herausforderungen aus dem Themenbereich grüner und nachhaltiger Chemie bieten.

- Die Umwandlung von Naturprodukten und die Synthese von wichtigen anorganisch-chemischen Grundprodukten sowie ihre Verwendung beschreiben.
- Herstellung und Verwendung wichtiger organisch-chemischer Grundprodukte darstellen.
- Gewinnung, Verwendung und Wiederverwertung von makromolekularen Stoffen darstellen.
- Chemische Vorgänge im Haushalt in Abhängigkeit von den beteiligten Substanzen erklären.
- Potentielle Risiken am Beispiel ausgewählter Stoffe benennen.
- Den Umgang mit materiellen und energetischen Ressourcen bewerten und dabei regionale und europäische Besonderheiten berücksichtigen. Entstehung und Wirkung von Schadstoffen beschreiben.
- Funktion und Vernetzung natürlicher und anthropogener Stoffkreisläufe erklären.
- Nachwachsende Rohstoffe angeben und mit fossilen Rohstoffen vergleichen

Fazit:

Der Lehrplan für Sekundarstufe II im Allgemeinen und für das Fach Chemie im Besonderen, baut auf den in der Sekundarstufe I erworbenen Kompetenzen der Lernenden auf. In verstärktem Maße haben hier die Lehrenden die Aufgabe, anhand von aktuellen und konkreten Herausforderungen regionaler und globaler Art, Lerngelegenheiten bereitzustellen, in denen die Lernenden ihre Kompetenzen und ihr Wissen um chemische Aspekte stetig erweitern, anwenden und üben können, um zu informierten und verantwortungsvoll handelnden Personen heranzuwachsen.

Ausgewählte Aspekte grüner und nachhaltiger Chemie bieten insbesondere in der Sekundarstufe II

¹ Der Lehrplan für die Sekundarstufe II ist semestriert, d. h. die Inhalte und zu erwerbenden Kompetenzen sind für jedes der vier Semester separat angegeben.

hervorragende Anknüpfungspunkte, um die oben beschriebenen Ziele anzubahnen und dabei den Beitrag chemischer Forschung und Entwicklungen verstehen zu lernen. Auch für die Lehrenden in diesen Schulstufen gilt, dass die wenigsten bereits im Studium die Gelegenheit hatten, entsprechende fachliche und methodische Kenntnisse zu erwerben. Aus diesem Grund ist es auch für die Sekundarstufe II notwendig, entsprechende Materialien zu entwickeln und zu evaluieren sowie ein längerfristig angelegtes Fortbildungsprogramm für Lehrpersonen zu implementieren. Hier könnten z. B. externe Expert:innen eingebunden werden, die konkrete Einblicke in aktuelle Forschungen und Entwicklungen im Kontext grüner und nachhaltiger Chemie bieten – sowohl für Schüler:innen als auch für Lehrer:innen. Damit grüne und nachhaltige Chemie ein Element unserer gesellschaftlichen Praxis werden kann, brauchen wir eine kompetente und sachkundige Gemeinschaft, die sich aus Fachleuten, Lehrpersonen, Schüler:innen und der Öffentlichkeit zusammensetzt (Armstrong et al., 2018, S. 65). Für das Gelingen ist es zentral, die Lehrpersonen mit dieser verantwortungsvollen und voraussetzungsreichen Aufgabe nicht alleine zulassen.

Implikationen

Die Lehrpläne für den naturwissenschaftlichen Sachunterricht und den Chemieunterricht in der Sekundarstufe I und II bieten vielfältige Anknüpfungspunkte, um mit den Lernenden Aspekte der grünen und nachhaltigen Chemie zu bearbeiten. Mit Blick auf die globalen Herausforderungen, mit denen die Menschheit umgehen muss, ist es kein Luxus, sich im Unterricht mit grüner und nachhaltiger Chemie zu beschäftigen. Vielmehr ist es essentiell, damit alle Schulabgänger:innen und zukünftigen Bürger:innen das Rüstzeug erwerben können, um informiert und verantwortungsvoll handeln zu können. Klar ist auch, dass Lehrer:innen das nicht alleine leisten können – sie brauchen gut aufbereitete Materialien, Fortbildungsprogramme und Unterstützung durch Expert:innen.

Quellen:

Armstrong, L., Rivas, M., Douskey, M. & Baranger, A. (2018). Teaching students the complexity of green chemistry and assessing growth in attitudes and understanding. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*. 13, 61-67. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.04.003>

Eilks, I. & Linkwitz, M. (2022). Greening the chemistry curriculum as a contribution to education for sustainable development: When and how to start? *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*. 37, 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2022.100662>

GCO II (2019). *Global Chemicals Outlook II. From Legacies to Innovative Solutions: Implementing the 2030 Agenda for Sustainable Development*. United Nations Environment Programme. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/28113/GCOII.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Lehrplan Sachunterricht Primarstufe: <https://www.paedagogikpaket.at/massnahmen/lehrplaene-neu/materialien-zu-den-unterrichtsgegenst%C3%A4nden.html>

Lehrplan Chemie Sekundarstufe I: <https://www.paedagogikpaket.at/massnahmen/lehrplaene-neu/materialien-zu-den-unterrichtsgegenst%C3%A4nden.html>

Lehrplan Chemie Sekundarstufe II:

<https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10008568>

Lembens, A., Heinzle, G., Tepla, A., Maulide, N., Preinfalk, A., Kaiser, D. & Spitzer, P. (2022).

SpottingScience – a digital learning environment to introduce Green Chemistry to secondary students and the public. *Chemistry Teacher International*, 4(2), 143-154. [doi:10.1515/cti-2021-0025](https://doi.org/10.1515/cti-2021-0025)

Mahaffy P. G. (2015). Chemistry education and human activity. In Garcia-Martinez, J. & Serrano, E (Eds.), *Chemistry education*, Weinheim: Wiley-VCH, pp. 3–26.

Mammino, L. (2015). A Great Challenge of Green Chemistry Education: The Interface between Provision of Information and Behaviour Patterns. In V. Gomes Zuin & L. Mammino (Eds.), *Worldwide Trends in Green Chemistry Education* (pp. 1-15). Cambridge: The Royal Society of Chemistry.

Sadler, T. (2011). Situating Socio-scientific Issues in Classrooms as a Means of Achieving Goals of Science Education. In T. Sadler (Eds.), *Socio-scientific Issues in the Classroom: Teaching, Learning and Research* (pp. 1-9). Dordrecht: Springer Netherlands.

Sjöström J. (2013). Towards Bildung-oriented chemistry education, *Sci. Educ.* 22, 1873–1890. <https://doi.org/10.1007/s11191-011-9401-0>

Sjöström J., Eilks I. & Zuin V. G., (2016). Towards eco-reflexive science education – a critical reflection about educational implications of Green Chemistry, *Sci. Educ.* 25, 321–341. <https://doi.org/10.1007/s11191-016-9818-6>

UNESCO <https://en.unesco.org/sustainabledevelopmentgoals>

UNESCO <https://www.unesco.de/bildung/agenda-bildung-2030/bildung-und-die-sdgs> UNESCO (2016). *Unpacking Sustainable Development Goal 4. Education 2030. Deutsche Version.* https://www.unesco.de/sites/default/files/2018-01/Unpacking_SDG4_web_2017.pdf

Zowada, C., Frerichs, N., Zuin, V. G. & Eilks, I. (2020). Developing a lesson plan on conventional and green pesticides in chemistry education – a project of participatory action research. *Chemistry Education Research and Practice.* 21(1), 141-153. [doi:10.1039/C9RP00128J](https://doi.org/10.1039/C9RP00128J)