

## **Professionsorientierung in der Physikalischen Chemie für Lehramt**

Zum Curriculum eines Chemie Lehramtsstudiums gehören standortunabhängig sowohl fachdidaktische als auch fachwissenschaftliche Module. Zu letzteren zählt die Physikalische Chemie (PC). Das Modul Physikalische Chemie, welches die drei Themenbereiche Thermodynamik, Kinetik und Elektrochemie umfasst, wird an der Universität Potsdam von Lehramtsstudierenden in der Regel im vierten Fachsemester belegt. Anhand von Befragungen wurde ermittelt, dass die Physikalische Chemie aufgrund fehlender Alltags- und Schulbezüge, der zahlreichen (mathematischen) Formeln und des in der Vor- und Nachbereitung zeitaufwändigen Praktikums im Vergleich zu den anderen fachwissenschaftlichen Modulen von den Lehramtsstudierenden als größte Herausforderung wahrgenommen wird. Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse wurden an der Universität Potsdam verschiedene Ansätze zur zielgruppenspezifischen, zeitgemäßen und motivierenden Gestaltung von PC-Lehrveranstaltungen für Lehramtsstudierende entwickelt und in der Praxis evaluiert. Das professionsorientierte Maßnahmenpaket beinhaltet unterschiedliche Methoden und Ansätze, wie z. B. den Einsatz von Gamification-Elementen in Kombination mit verschiedenen in der Schule anwendbaren Methoden, die Durchführung eines Planspiels im PC-Seminar sowie die Verwendung interaktiver Versuchsanleitungen sowie eines elektronischen Laborjournals im PC-Praktikum. Letzteres wird im Beitrag „Digitales Lernen im Praktikum Physikalische Chemie“ (siehe Liedtke et al., in diesem Band) thematisiert. Hier soll daher das für das Seminar Physikalische Chemie für Lehramt entwickelte und mehrfach durchgeführte Planspiel, welches zudem die Integration von Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) in die Hochschullehre ermöglicht, näher vorgestellt und damit exemplarisch aufgezeigt werden, wie es gelingen kann, eine fachwissenschaftliche Lehrveranstaltung für Lehramtsstudierende zielgruppenspezifisch und damit professionsorientiert zu gestalten.

### **Planspiel in der Physikalischen Chemie**

Im Rahmen des Projekts *Chemistry for Future* wurden für fachwissenschaftliche Chemieseminare für das Lehramt aufgrund zahlreicher gewinnbringender Aspekte, wie der Förderung von Kommunikations-, Bewertungs- und überfachlichen Kompetenzen (de Boer, 2014; Fitzke, 2019) sowie der Anlehnung an Lebensrealitäten und das Thematisieren gesellschaftsrelevanter Problemstellungen, drei Planspiele erstellt – ein Planspiel zur Anorganischen Chemie (Liedtke, Richter & Riemer, 2024), eines zur Allgemeinen Chemie (Richter, Liedtke & Riemer, im Druck) und das in diesem Beitrag betrachtete Planspiel zur Physikalischen Chemie. Angelehnt an die Motive und Haltung der Gruppe *Fridays for Future* liegt der Fokus aller drei Planspiele auf nachhaltiger Entwicklung und *Green Chemistry* – jeweils eingebettet in die Inhalte der zum entsprechenden Modul gehörenden Vorlesung. Das übergreifende Thema des PC-Planspiels ist die Umwandlung von Kohlenstoffdioxid CO<sub>2</sub> in für die Industrie nützliche Grundchemikalien, wie z. B. Methan CH<sub>4</sub>, Formaldehyd CH<sub>2</sub>O oder Ethin C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>. Solche Umwandlungsmethoden werden aus den drei Themenbereichen der PC (Thermodynamik, Elektrochemie und Kinetik) herausgearbeitet. In dem Planspiel werden die Studierenden in eine fiktive Situation versetzt, in der sie sich als Mitarbeitende in einem

Start-up namens *ReCO<sub>2</sub>* befinden. Dieses Start-up befasst sich mit den kommerziellen Verwendungsmöglichkeiten von Kohlenstoffdioxid in der chemischen Industrie. Die Studierenden sind in ihrer Rolle als Mitarbeitende in dem Start-up einer Arbeitsgruppe zugeordnet (je vier Studierende), welche sich mit Umwandlungsmethoden in Bezug auf einen der drei Themenbereiche beschäftigt. Die Aufgabe der Arbeitsgruppen ist es, aus drei bis vier vorgegebenen Methoden zur CO<sub>2</sub>-Umwandlung eine für das Start-up geeignete Methode unter Berücksichtigung physikalisch-chemischer, grüner und finanzieller Aspekte auszuwählen. Das Ziel der Studierenden ist es damit dem Start-up *ReCO<sub>2</sub>* zum Erfolg zu verhelfen.

In Bezug auf die physikalisch-chemischen Aspekte zu den Umwandlungsmethoden werden in jedem Themenbereich die entsprechenden Methoden modellhaft auf den Einsatz im Start-up geprüft, indem die Studierenden verschiedene Werte zu den Reaktionen der Methoden berechnen. Dabei werden viele der in der Realität zusätzlich zu betrachtenden Werte, Eigenschaften und Praktiken bei der Umsetzung eines solchen Verfahrens vereinfacht und auf bekannte Konzepte aus der Vorlesung bezogen. Durch verschiedene Berechnungen, welche die Grundlage für eine problemorientierte Anwendung bilden, werden die fachwissenschaftlichen physikochemischen Fähigkeiten und Fertigkeiten der Studierenden vertieft. Im Themenbereich der Thermodynamik wird zu drei verschiedenen Reaktionen die freie Reaktionsenthalpie  $\Delta_R G$  berechnet und jeweils gegen die Temperatur bei Normaldruck in einem Intervall von 0–1000 °C geplottet (vgl. Gorimbo & Muvhiwa, 2022). Mithilfe eines solchen freie Enthalpie-Temperatur-Diagramms können die Studierenden abschätzen, bei welchen Temperaturen die Reaktionen jeweils freiwillig ablaufen und inwiefern diese sich auch wirtschaftlich – z. B. in Bezug auf Heizkosten etc. – für den kommerziellen Einsatz im Start-up eignen. Im Bereich der Kinetik liegt der Fokus auf Reaktionen, bei welchen Kohlenstoffdioxid durch Enzyme zu anderen Chemikalien umgesetzt wird (vgl. Patil et al., 2022). Die Studierenden sollen zu jeder Reaktion die Geschwindigkeit  $v_R$  sowie die Aktivierungsenergie  $E_A$  berechnen. Da es sich um enzymkatalysierte Reaktionen handelt, ist von den Studierenden dabei die Michaelis-Menten-Kinetik zu beachten. Mit den errechneten Werten können die Studierenden ableiten, inwiefern die jeweils betrachtete Reaktion schnell oder energieintensiv abläuft, woraus sich eine potentielle Eignung für das Start-up ableiten lässt. In dem Bereich der Elektrochemie betrachten die Studierenden verschiedene Elektrolyse-Kohlenstoffdioxid-Umwandlungen (vgl. Weekes et al., 2018; Kortlever et al., 2015). Dabei sind jeweils die Elektrodenpotentiale anhand der Nernst-Gleichung zu berechnen und daraus die Zersetzungsspannung  $E_Z$  der jeweiligen Elektrolyse-Reaktion zu bestimmen. Die Studierenden leiten daraus ab, welches Verfahren jeweils weniger Strom für den Ablauf der Elektrolyse nutzt.

In Bezug auf die Aspekte zur Grünen Chemie bei den Umwandlungsmethoden prüfen die Studierenden, inwiefern die 12 Prinzipien der Grünen Chemie (Anastas & Warner, 1998) in der jeweiligen Methode Anwendung finden bzw. finden können. Auch berechnen die Studierenden zwei metrische Größen der Grünen Chemie (E-Faktor und Atomökonomie) jeweils zur Prozessevaluation der jeweiligen Umwandlungsmethoden. Der E-Faktor beschreibt die Masse an Abfall, die in Relation zur Masse an gewünschtem Produkt bei einer Reaktion entsteht (Idealwert: 0; Sheldon, 2007). Hierbei ist im Planspiel mit den Studierenden zu diskutieren, inwiefern Reaktionsnebenprodukte der Umwandlungsmethoden, wie z. B. Wasser, Wasserstoff oder Sauerstoff, als Abfall anzusehen sind. Die Atomökonomie beschreibt, wie viel Prozent der Atome der Edukte einer Reaktion im gewünschten Produkt enden (Idealwert 100 %; Trost, 1991).

Die Studierenden sollen dann in ihrer Arbeitsgruppe die verschiedenen Verfahren anhand der benannten Aspekte und der jeweiligen Verkaufspreise der aus den Verfahren entstehenden Produkte für das Start-up gewichten und eine Empfehlung für ein Verfahren abgeben. Diese Entscheidung und die dazugehörige Begründung stellen die Studierenden im Plenum vor. Anschließend sollen die Lernenden diskutieren und untersuchen, inwiefern die jeweiligen drei Verfahren noch nachhaltiger gestaltet werden können. Dabei sollten sie darauf eingehen, wie und wo die Edukte beschafft werden sollen, wo die Anlage am besten stehen sollte, wie sie die Nebenprodukte handhaben oder vielleicht sogar nutzen würden. Das Planspiel wurde so gestaltet, dass es innerhalb einer regulären Seminarsitzung durchgeführt werden kann. In der Seminarsitzung vor dem eigentlichen Planspiel erhalten die Studierenden Übungsaufgaben und werden den Arbeitsgruppen des Start-ups zugeordnet. Die Übungsaufgaben an sich umfassen die Berechnungen zu den physikalisch-chemischen Aspekten der Umwandlungsmethoden ihrer Gruppe/Abteilung, welche in Vorbereitung auf das Planspiel anstelle eines regulären Übungsblattes bearbeitet werden. Das eigentliche Planspiel umfasst die folgenden Phasen: I) Einführung in Planspiel-Setting und Green Chemistry, II) Rollenübernahme in den Teams durch die Studierenden, III) Bearbeitung der Teamaufgaben (Gewichtung der Verfahren) und Rollendiskussion, IV) Entscheidungsfindung der jeweiligen Teams zu den Verfahren und V) Reflexion in der Gruppe. Das Planspiel ist für das Ende der Lehrveranstaltung vorgesehen, da es a) den Abschluss der Lehrveranstaltung darstellt und b) die Studierenden einen Einblick in die Anwendungen der drei Themenbereiche erhalten. Es bildet den Abschluss des Seminars, indem es alle drei im PC-Modul behandelten Themenbereiche abdeckt und die Studierenden gezielt in dem Themenbereich, in dem sie noch Schwierigkeiten haben, durch wiederholende Übungsaufgaben gefördert werden.

#### **Rückmeldungen zum Planspiel und Fazit**

Durch eine Evaluation ( $N = 13$ ) des Planspiels wurde ermittelt, dass ca. 95 % ( $N = 11$ ) der Studierenden durch die Auseinandersetzung mit der Physikalischen Chemie im Rahmen des Planspiels motiviert wurden, sich eingehender mit PC-Inhalten zu beschäftigen. Außerdem gefällt es 100 % der befragten Studierenden, dass durch das Planspiel Aufgaben mit Bezug zur Nachhaltigkeit in das PC-Seminar integriert werden. Auch wurde von 92 % der Studierenden anerkannt, dass das PC-Planspiel-Thema gesellschaftliche Relevanz aufweist. Zudem wurde der Lehramtsbezug positiv hervorgehoben sowie die alltagsbezogenen Inhalte. Auch die Anwendungsorientierung und die kooperative Arbeitsweise wurden gelobt. Insgesamt ist es also durch die Integration der Planspielmethode in ein fachwissenschaftliches PC-Seminar für Lehramtsstudierende gelungen, die entsprechende Lehrveranstaltung professionsorientierter zu gestalten. Zusätzlich konnten durch die gewählte Planspielthematik Nachhaltigkeitsaspekte in das PC-Seminar integriert werden. Als Limitation ist zu bedenken, dass die Begrenzung des Planspiels auf eine Seminarzeit von 90 Minuten den möglichen Umfang der Inhalte und deren Umsetzung im Planspiel deutlich einschränkt. Im Zusammenhang mit dem Planspiel wurden fachwissenschaftliche Inhalte angewendet und vertieft sowie zeitgleich die Kommunikations-, Bewertungs- und überfachlichen Kompetenzen der Studierenden gefördert. Zudem vertiefen die Lehramtsstudierenden durch das Planspiel ihr Wissen über eine Methode des offenen Unterrichts und erweitern ihr Methodenrepertoire. All diese Aspekte sowie die durchweg positiven Rückmeldungen der Studierenden zeigen den eindeutig positiven Effekt der Anwendung einer schulrelevanten Methode in einer fachwissenschaftlichen Lehrveranstaltung für angehende Lehrkräfte im Bereich der Hochschullehre.

## Literatur

- Anastas, P. T. & Warner, J. C. (1998). *Green chemistry: Theory and practice*. Oxford University Press.
- de Boer, H. (2014). Bildung sozialer, emotionaler und kommunikativer Kompetenzen – ein komplexer Prozess. In C. Rohlf, M. Harring & C. Palentien (Hrsg.), *Kompetenz-Bildung* (S. 23–38). Springer Fachmedien Wiesbaden. doi: 10.1007/978-3-658-03441-2\_2
- Fitzke, C. (2019). Förderung überfachlicher Kompetenzen an Hochschulen: Neurowissenschaftliche Erkenntnisse in der Studienberatung nutzen. Springer. doi: 10.1007/978-3-658-26903-6
- Gorimbo, J. & Muvhiwa, R. (2022). Thermodynamics of CO<sub>2</sub> conversion. In Inamuddin, R. Boddula, M. I. Ahamed & A. Khan (Hrsg.), *Carbon dioxide utilization to sustainable energy and fuels* (S. 79–89). Cham: Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-030-72877-9\_4
- Kortlever, R., Shen, J., Schouten, K. J. P., Calle-Vallejo, F. & Koper, M. T. M. (2015). Catalysts and reaction pathways for the electrochemical reduction of carbon dioxide. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 6 (20), 4073–4082. doi: 10.1021/acs.jpclett.5b01559
- Liedtke, P., Richter, L., & Riemer, N. (2024). Chemistry for Future. In N. Graulich, J. Arnold, S. Sorge & M. Kubsch (Hrsg.), *Lehrkräftebildung von morgen* (S. 127–133). Waxmann Verlag GmbH. doi: 10.31244/9783830997962.14
- Patil, P. D., Chahande, A. D., Marghade, D. T., Bhange, V. P. & Tiwari, M. S. (2022). Enzymatic CO<sub>2</sub> conversion. In Inamuddin, R. Boddula, M. I. Ahamed & A. Khan (Hrsg.), *Carbon dioxide utilization to sustainable energy and fuels* (S. 91–111). Cham: Springer International Publishing. doi: 10.1007/978-3-030-72877-9\_5
- Richter, L., Liedtke, P., & Riemer, N. (im Druck): Vernetzung von Chemie und Politischer Bildung durch Planspiele ermöglichen, In L. Girmus, I.-C. Panreck & M. Partetzke (Hrsg.), *Zwischen Technokratisierung und Demokratieanspruch*. Springer VS Wiesbaden.
- Sheldon, R. A. (2007). The E factor: fifteen years on. *Green Chemistry*, 9(12), 1273–1283.
- Trost, B. M. (1991). The atom economy—a search for synthetic efficiency. *Science*, 254(5037), 1471–1477.
- Weekes, D. M., Salvatore, D. A., Reyes, A., Huang, A. & Berlinguette, C. P. (2018). Electrolytic CO<sub>2</sub> reduction in a flow cell. *Accounts of Chemical Research*, 51 (4), 910–918. doi: 10.1021/acs.accounts.8b00010