

Ricarda Ringdorfer¹
Doris Dallinger¹
C. Oliver Kappe¹
Philipp Spitzer¹

¹Universität Graz

Realisierung eines Flow Chemistry Praktikums mit Masterstudierenden

Flow Chemistry gilt als eine der aufstrebendsten Synthesemethoden im Bereich der Industrie und Forschung (Kairouz & Collins, 2018). Dabei werden Reaktanden mit einer bestimmten Flussrate durch einen Flow Reaktor, z.B. Schlauch, Rohr, Mikroreaktor, gepumpt, sodass ein kontinuierlicher Fluss der verwendeten Chemikalien entsteht (Plutschack, Pieber, Gilmore & Seeberger, 2017). In einem Mischer treffen die Reaktandenströme aufeinander, werden gemischt und laufen weiter durch den Reaktor, wo die Reaktion stattfindet. Dieses Prozedere kann theoretisch ohne Unterbrechung fortgeführt werden, bis die gewünschte Menge an Produkt erreicht wird. Im Vergleich zu herkömmlichen Syntheseverfahren in Batch bringen Synthesen im Durchfluss viele Vorteile mit sich: Einer der wichtigsten Vorteile ist dabei die erhöhte Sicherheit selbst bei gefährlichen Reaktionen durch kontrollierbare Reaktionsbedingungen (Britton & Jamison, 2017; Gutmann, Cantillo & Kappe, 2015). Durch eine verbesserte Wärme- und Massenübertragung werden bei Reaktionen in Flow Systemen bei kürzeren Reaktionszeiten oft höhere Produktqualitäten als in herkömmlichen Batch-Prozessen erzielt und ein Scale-Up ist leichter möglich (Dallinger & Kappe, 2017).

Flow Chemistry in der Hochschullehre

Diese Vorteile machen Flow Chemistry zu einer wichtigen Synthesemethode für die Herstellung vieler organischer Verbindungen in Industrie und Forschung. Vor diesem Hintergrund ist es wichtig, Flow Chemistry auch in die Lehre zu integrieren (Blanco-Ania & Rutjes, 2017). Im Sinne der curricularen Innovationsforschung soll sich Lehre mit aktuellen, relevanten Forschungsthemen und -erkenntnissen mitentwickeln (Tausch, 2004), um die Fähigkeiten der Studierenden im Hinblick auf ihre berufliche Zukunft als Chemiker:innen zu fördern (Kairouz, Charette & Collins, 2021). So empfehlen Blanco-Ania & Rutjes (2017) die Implementierung von Flow Chemistry-Elementen an Hochschulen bereits im frühen Stadium des Bachelorstudiums, da hier Studierende ihre ersten Laborpraktika absolvieren und Elemente der Flow Chemistry bereits an dieser Stelle in die Lehre eingebettet werden sollten. Denn durch Flow Chemistry können Fähigkeiten in mehreren Teilbereichen der Chemie gefördert werden: So sind für Flow Chemistry Kompetenzen im Bereich der Verfahrenstechnik, analytischen Chemie und organischen Chemie notwendig (Kairouz, Charette & Collins, 2021).

Problemaufriss

Obwohl Flow Chemistry als gängige Synthesemethode in Industrie und Forschung eingesetzt wird und die Publikationen zu Synthesen in Flow-Prozessen in den letzten Jahren stetig zunehmen, ist die Implementierung von Flow Chemistry in der Hochschullehre noch vergleichsweise wenig verbreitet, wenngleich auch in diesem Bereich die Publikationen zu Möglichkeiten der Integration von Flow Chemistry in die Lehre nach und nach mehr Aufmerksamkeit gewinnen (z.B. Blanco-Ania & Rutjes, 2017; Kairouz, Charette & Collins,

2021; König et al., 2013; Leibfarth, Russell, Langley, Seo, Kelly, Carney, Sello & Jamison, 2018; Penny, Tsui & Hilton, 2021). An der Universität Graz wird Flow Chemistry in der Forschung eingesetzt, in der Lehre fehlte die Implementierung besonders im praktischen Bereich allerdings zur Gänze und sollte daher im Masterstudium „Technical Chemistry“ als eintägiges Laborpraktikum integriert werden. Die Studierendengruppe, die das Laborpraktikum absolvieren soll, setzt sich dabei aus Studierenden mit verschiedenen Bachelorabschlüssen (Großteils BSc Chemie, zu geringen Anteilen BSc Umweltsystemwissenschaften oder andere) zusammen und hat demnach unterschiedliche Vorerfahrungen im Bereich der Flow Chemistry und im praktischen Arbeiten im Labor, was eine Hürde für die Absolvierung des Laborpraktikums darstellen kann. Insbesondere für Studierende ohne Chemie-Vorstudium könnte das praktische Arbeit im Labor Schwierigkeiten bereiten, da ihr Vorstudium kaum bis wenig Lerngelegenheiten zu praktischem Arbeiten im Labor bot.

Ziele

In unserem Forschungsprojekt verfolgen wir das Ziel, Flow Chemistry in das Masterstudium „Technical Chemistry“ an der Universität Graz zu implementieren. Methodisch ist dieses Forschungsprojekt in das Feld der partizipativen Aktionsforschung (Eilks & Ralle, 2002; Tolsdorf & Markic, 2018) einzubetten. Dafür wurde mit Chemiker:innen aus dem Bereich der Flow Chemistry ein eintägiges Laborpraktikum konzipiert, das mit speziell für die Lehre entwickelten Experimenten die Prinzipien von Flow Chemistry vermitteln und Studierende dazu befähigen soll, abschließend eine Synthesereaktion samt Optimierung in einem für die Lehre geeigneten 3D-gedruckten Flow Reaktor durchzuführen. Um die Studierenden mit unterschiedlichen Vorerfahrungen und Lerngelegenheiten zu Flow Chemistry in der Vorbereitung auf das Labor und währenddessen zu unterstützen, wurde eine digitale Lernumgebung entwickelt.

Umsetzung

Für das hier vorgestellte Laborpraktikum wurde ein 3D-gedruckter Flow Reaktor der Firma IKA verwendet (Abb. 1), der es ermöglicht, wichtige Basisoperationen von Flow Chemistry wie die Einstellung der Flussrate einfach und selbstständig durchzuführen. Nach dem Design der partizipativen Aktionsforschung (Eilks & Ralle, 2002; Tolsdorf & Markic, 2018) werden in mehreren Zyklen ein didaktisches Konzept sowie Experimente aus aktueller Forschung für das Laborpraktikum entwickelt und umgesetzt. Insgesamt besteht das Praktikum aus drei aufeinander aufbauenden Experimenten: Zu Beginn werden Flussratenbestimmungen mit Wasser durchgeführt, anschließend folgen Untersuchungen der Mischeffizienz von unterschiedlichen Mischer-Typen und darauf aufbauend wird eine Synthesereaktion durchgeführt und optimiert.

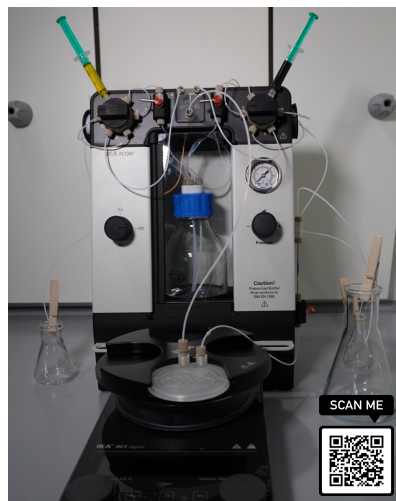


Abb. 1: IKA Flow Reaktor und weiterführende Informationen

Ergebnisse

Der erste Laborpraktikumsdurchlauf konnte mit acht Gruppen von vier bis sechs Studierenden bei einer Gesamtteilnehmer:innenzahl von 40 Studierenden realisiert werden. In Prä- und Post-Interviews sowie Prä- und Post-Fragebögen wurde u.a. erhoben, wie die Strukturierung des Laborpraktikums sowie der Einsatz des Flow Reaktors von den Studierenden wahrgenommen wurde. Für die im dritten Experiment geforderte eigenständige Syntheseoptimierung wurden in Anlehnung an forschungsnahes Lernen (Reinmann, 2020) Gruppendiskussionen angeregt, die als Basis für die Wahl der Optimierungsparameter dienten. Dabei konnten wir feststellen, dass mehr als 81 % der Studierenden diese Diskussionen als hilfreich empfanden und das Gefühl hatten, im Rahmen des Laborpraktikums eigene Ideen umsetzen zu können (Abb. 2). Ebenso gab die Mehrheit der Studierenden an, selbstständiges Arbeiten als lernsteigernd einzuschätzen (Abb. 2).

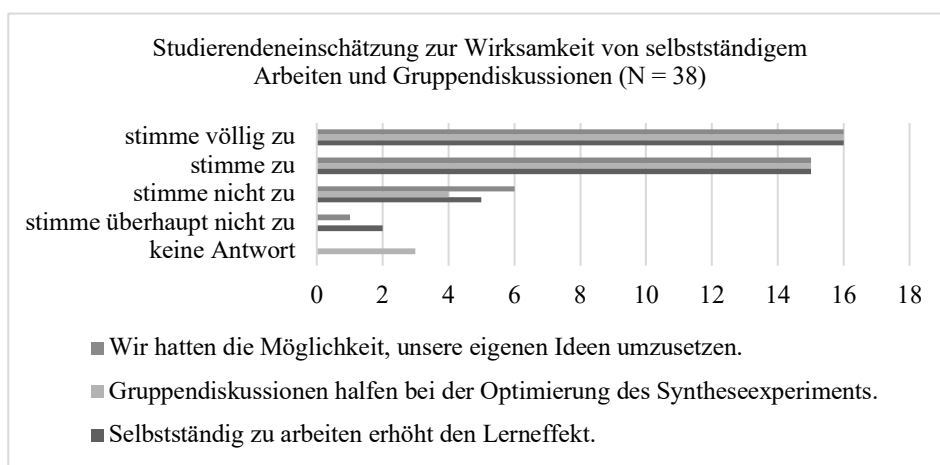


Abb. 2: Studierendeneinschätzung zu eingesetzten Elementen im Laborpraktikum.
(Aus dem Englischen ins Deutsche übersetzt.)

86 % der Studierenden (N = 35) empfanden die Strukturierung des Labors als gut. Quantitative Ergebnisse zeigten aber, dass die Optimierung in Experiment drei in manchen Gruppen zu viel Zeit beanspruchte. Das Arbeiten am Flow Reaktor wurde als sehr einfach und leicht verständlich empfunden, für die Gruppengröße von fünf oder sechs Studierenden allerdings wäre ein zweites Gerät sinnvoll. Eine Implementierung von Flow Chemistry in das Masterstudium befürworten 94 % der Studierenden.

Diskussion und Ausblick

Die Ergebnisse des ersten Laborzyklus bestätigten den Erfolg der Implementierung von Flow Chemistry in die Hochschullehre in Form eines Laborpraktikums. Auch die Verwendung des IKA Flow Reaktors als vergleichsweise einfache Möglichkeit der Realisierung von Flow Synthesen kann an dieser Stelle positiv hervorgehoben werden. Für die weiteren Laborzyklen soll aufgrund genannter Zeitprobleme aber an der Entwicklung weiterer geeigneter Optimierungsreaktionen gearbeitet werden, die auch mit geringeren Reaktionszeiten durchführbar sind. Weiters wird der Einsatz von anderen Flow Reaktoren als Ergänzung getestet, um das Arbeiten in Gruppengrößen von fünf oder sechs Personen besser strukturieren zu können.

Literatur

- Blanco-Ania, D. & Rutjes, F. P. J. T. (2017). Continuous-Flow Chemistry in Chemical Education. *Journal of Flow Chemistry*, 7 (3), 157–158
- Britton, J. & Jamison, T. (2017). The Assembly and Use of Continuous Flow Systems for Chemical Synthesis. *Nature Protocols*, 12, 2423–2446
- Dallinger, D. & Kappe, C. O. (2017). Why flow means green – Evaluating the merits of continuous processing in the context of sustainability. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 7, 6–12
- Eilks, I. & Ralle, B. (2002). Partizipative Fachdidaktische Aktionsforschung. Ein Modell für eine begründete und praxisnahe curriculare Entwicklungsforschung in der Chemiedidaktik. *CHEMKON*, 9 (1), 13–18
- Gutmann, B., Cantillo, D. & Kappe, C. O. (2015). Continuous-flow technology—a tool for the safe manufacturing of active pharmaceutical ingredients. *Angewandte Chemie (International ed. in English)*, 54 (23), 6688–6728
- Kairouz, V., Charette, A. B. & Collins, S. K. (2021). Implementing flow chemistry in education: the NSERC CREATE program in continuous flow science. *Journal of Flow Chemistry*, 11 (1), 13–17
- Kairouz, V. & Collins, S. K. (2018). Continuous Flow Science in an Undergraduate Teaching Laboratory: Bleach-Mediated Oxidation in a Biphasic System. *Journal of Chemical Education*, 95 (6), 1069–1072
- König, B., Kreitmeier, P., Hilgers, P. & Wirth, T. (2013). Flow Chemistry in Undergraduate Organic Chemistry Education. *Journal of Chemical Education*, 90 (7), 934–936
- Leibfarth, F. A., Russell, M. G., Langley, D. M., Seo, H., Kelly, L. P., Carney, D. W., Sello, J. K. & Jamison, T. F. (2018). Continuous-Flow Chemistry in Undergraduate Education: Sustainable Conversion of Reclaimed Vegetable Oil into Biodiesel. *Journal of Chemical Education*, 95 (8), 1371–1375
- Penny, M. R., Tsui, N. & Hilton, S. T. (2021). Extending practical flow chemistry into the undergraduate curriculum via the use of a portable low-cost 3D printed continuous flow system. *Journal of Flow Chemistry*, 11 (1), 19–29
- Plutschack, M. B., Pieber, B., Gilmore, K. & Seeberger, P. H. (2017). The Hitchhiker's Guide to Flow Chemistry. *Chemical Reviews*, 117 (18), 11796–11893
- Reinmann, G. (2020). Forschendes Lernen – Ein Nukleus der Hochschuldidaktik. In *Forschendes Lernen an Universitäten*. Wiesbaden: Springer VS, 591–604
- Tausch, M. W. (2004). Curriculare Innovation. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 53, 18–21
- Tolsdorf, Y. & Markic, S. (2018). Participatory Action Research in University Chemistry Teacher Training. *Center for Educational Policy Studies Journal*, 8 (4), 89–108