

## Physikalische Chemie zu Studienbeginn Analyse eines Stolpersteins

### Ausgangslage

Der Studienstart wird als besonders anforderungsreiche Phase der Transition vom sekundären zum tertiären Bildungsbereich betrachtet, die für einen eventuellen Studienerfolg essentiell ist (vgl. Bosse & Trautwein 2014). In den MINT-Fächern stellen gerade die hohen, fachlichen Anforderungen ein herausforderndes Lernhindernis für StudienanfängerInnen dar (vgl. Heublein et al. 2017, S. 124). Nach einer aktuellen Studie an zwei deutschen Universitäten sind es die abstrakt-mathematischen Fächer Mathematik und Physikalische Chemie, die die StudienanfängerInnen inhaltlich besonders überfordern (Schwedler 2017).

Dieser Beitrag skizziert die Verfolgung dreier Forschungsanliegen: Erstens werden die in der internationalen Literatur bekannten Lernschwierigkeiten zusammengetragen und mit der disziplinspezifischen Curricularstruktur verknüpft. Zweitens soll aufgezeigt werden, welche Bedeutung der Physikalischen Chemie deutschlandweit im ersten Jahr des Chemiestudiums zukommt. Und drittens wird untersucht, inwieweit die Lernhindernisse auch im deutschen Hochschulraum auftreten.

### Von der Fachstruktur zu literaturbekannten Lernschwierigkeiten

Nach Primas kommen in der Physikalischen Chemie die unterschiedlichen naturwissenschaftlichen Traditionen der Chemie und der Physik auf spezifische Weise zusammen (vgl. Primas 1985): Während die Chemie die vielfältigen Ausformungen der Materie traditionell mit Hilfe qualitativer Kriterien klassifiziert, zielt die Physik auf möglichst fundamentale, verallgemeinerbare und quantifizierbare Zusammenhänge ab. Auf diese Weise entsteht eine eigene Wissenschaftsdisziplin (vgl. Schummer 1998), die in ihrer Fachkultur von anderen Bereichen der Physik und der Chemie abzugrenzen ist. Charakteristisch sind quantitative Modelle und Zusammenhänge, die allerdings nicht verallgemeinerbar, sondern nur für bestimmte Stoffklassen oder unter bestimmten Bedingungen anwendbar sind bzw. in denen oft auch stoffspezifische Größen zum Einsatz kommen.



Abb.1: Die fünf Kernbereiche der Physikalischen Chemie

Auch angesichts der zunehmenden Interdisziplinarität der Forschung berührt diese Vorgehensweise inzwischen zahlreiche Bereiche der naturwissenschaftlichen Forschung,

wobei die Thermodynamik (chemische Energetik), Elektrochemie, Quantenchemie, Spektroskopie und Reaktionskinetik als zentrale Fachbereiche der Physikalischen Chemie betrachtet werden (vgl. Abbildung 1).

Die oben sehr grob skizzierten Charakteristika der Disziplin führen zu diversen, international bekannten Lernschwierigkeiten beim Lernen der Physikalischen Chemie in universitären Settings. Nach einer Untersuchung von Sözbilir (2004) betrachten Studierende und Dozierende den hohen Abstraktionsgrad physikochemischer Konzepte als ein besonders ausgeprägtes Lernhindernis. Vergleichbare Ergebnisse für die Wahrnehmung der Studierenden zeigt auch eine Untersuchung in der deutschen Hochschullandschaft (vgl. Schwedler 2017).

Dabei bezieht sich die Abstraktion auf zwei verschiedene Ebenen: Zum einen werden in der Physikalischen Chemie häufig statistische Entitäten bzw. deren dynamische Interaktionen betrachtet (vgl. Cartier 2009), für die sich der Aufbau angemessener mentaler Modelle sicherlich als Herausforderung darstellt (vgl. Schwedler 2019). Zum anderen bedient sich die Physikalische Chemie als quantifizierende Wissenschaft in einem für die chemische Tradition ungewohntem Maße elaborierter mathematischer Werkzeuge (vgl. Tsaparis and Finlayson 2014), die für die Studierenden abstrakt und schwer zu verstehen sind.

Der resultierende Mangel an konzeptuellem Verständnis wird von den Studierenden beklagt (vgl. Sözbilir 2004) und er äußert sich auch in einer Tendenz zum algorithmischen Auswendiglernen von Rechenrezepten als präferierte Lehr-Lernstrategie (Nyachwaya et al. 2014; Stamovlasis et al. 2005). Dabei zeigt sich, dass selbst fortgeschrittene Studierende (welche die Grundveranstaltungen erfolgreich abgeschlossen haben) und *high achiever* (welche in Lernstandsüberprüfungen gut oder sehr gut abschneiden) nicht in der Lage sind, die Bedeutung fundamentaler mathematischer Ausdrücke im physikochemischen Kontext angemessen zu interpretieren (Becker & Towns 2012; Hadfield & Wieman 2010).

Aus chemiedidaktischer Perspektive fällt in der disziplinspezifischen Lehr-Lernkultur ein Problem besonders ins Auge: Nach Johnstone (1991) erfordert eine verständnisfördernde Vermittlung chemischer Phänomene immer auch die Betrachtung des Konzepts auf der Teilchenebene. Diese submikroskopische Betrachtungsweise bezeichnet Becker als soziochemische Bezugsnorm, die aus ihrer Sicht in der universitären Physikochemie vernachlässigt wird (vgl. Becker et al. 2013). So wird die Teilchenvorstellung von Studierenden in Lehrveranstaltungen nicht von sich aus zur Argumentation verwendet (ebd.). Dazu passt, dass sich australische Studienanfänger insgesamt ihrer Vorstellungen auf der Teilchenebene sehr unsicher sind. Zudem haben Nyachwaya und Wood (2014) gezeigt, dass angloamerikanische Lehrwerke diese Ebene in ihren Abbildungen kaum berücksichtigen.

### **Ziele der Untersuchungen**

Zunächst wird betrachtet, welche curriculare Rolle der Physikalischen Chemie deutschlandweit in der Eingangsphase des fachwissenschaftlichen Chemiestudiums zukommt. Darüber hinaus ist zu klären, inwieweit deutsche Studierende im ersten Studienjahr über angemessene Teilchenvorstellungen verfügen und inwieweit deutsche Lehrwerke die Entwicklung dieser Teilchenvorstellungen unterstützen, indem sie die submikroskopische Ebene in Bildern und Texten berücksichtigen.

### **Untersuchung 1: Physikalische Chemie in der deutschen Studieneingangsphase**

In einer Untersuchung an zwei nordrhein-westfälischen Universitäten hat sich die Physikalische Chemie als Stolperstein in der Studieneingangsphase entpuppt (Schwedler 2017). Es ist allerdings nicht klar, ob das Fach an anderen deutschen Universitäten ebenfalls in signifikantem Umfang im ersten Jahr unterrichtet wird und das Problem daher potentiell nationale Relevanz aufweist. Daher wird eine Analyse der Modulhandbücher aller 51 universitären Institute durchgeführt, die Chemie als fachwissenschaftlichen Studiengang anbieten. Neben der inhaltsanalytischen Erfassung der Themen nach Mayring (2002) erfolgt

eine Abschätzung der Leistungspunkte, die im ersten Jahr curricular auf physikochemischer Inhalte bezogen sind, sowie eine Klassifizierung der curricularen Abfolge, in denen die fünf Kernbereiche der Physikochemie unterrichtet werden. Das von Peperkorn entwickelte und von Schwedler verfeinerte Kategoriensystem wird an anderen Stellen detaillierter beschrieben (Peperkorn 2018; Schwedler 2019b).

Erste Ergebnisse indizieren, dass fast alle Institute den Bereich der chemischen Energetik (Thermodynamik) im ersten Studienjahr unterrichten und sich im Mittel etwa ein Fünftel der Leistungspunkte im ersten Studienjahr auf physikochemische Konzepte beziehen.

### **Untersuchung 2: Submikroskopische Studierendenvorstellungen**

Es stellt sich die Frage, inwieweit die Studierenden angemessene submikroskopische Vorstellungen auf der Teilchenebene zu physikochemischen Kernkonzepten entwickelt haben. Zur Beantwortung dieser Frage wurden  $N = 124$  Einzelfallerhebungen (in der Regel Lautes Denken, zum Teil auch diagnostische Gespräche) mit fachwissenschaftlichen Studierenden des ersten Studienjahres zu acht Kernthemen der Thermodynamik und Kinetik durchgeführt. Die detaillierten, themenspezifischen Ergebnisse wurden (Schwedler 2019a, 2019b; Schwedler and Lyczek 2019) und werden an anderer Stelle publiziert. In der Gesamtbetrachtung wird klar, dass der überwiegende Teil der Studierenden auch nach der zugehörigen Veranstaltung keine angemessenen Teilchenvorstellungen aufweist.

### **Untersuchung 3: Analyse der Bilder und Texte schulischer und universitärer Lehrwerke**

Nyachwaya und Wood (vgl. 2014) haben gezeigt, dass die Darstellungen anglo-amerikanischer, universitärer Lehrwerke überwiegend der symbolischen Ebene zuzuordnen sind, während submikroskopische Darstellungen deutlich unterrepräsentiert sind. Es ist allerdings nicht geklärt, ob diese Proportionen auch auf deutsche Lehrwerke zutreffen und inwieweit sich schulische und universitäre Lehrwerke in diesem Punkt unterscheiden. Daher wurden die Texte und Bilder von neun universitären und schulischen Standardlehrwerken aus Deutschland zum Thema Elektrochemie inhaltsanalytisch untersucht. Die Analyse nutzt ein etabliertes Kategoriensystem zur Bildanalyse nach Gkitzia et al. (2011), welches auch für die Textanalyse adaptiert wurde (vgl. Heidebrecht 2018). Die Ergebnisse indizieren, dass die submikroskopische Ebene sowohl in schulischen als auch universitären Lehrwerken tendenziell unterrepräsentiert ist. Eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse folgt an anderer Stelle.

### **Zusammenfassung und Ausblick**

Die holistische Vermittlung physikochemischer Konzepte, welche explizit submikroskopische Betrachtungsweisen inkludiert, stellt eine zentrale Forderung der internationalen Fachdidaktik zur Verständnisförderung in der universitären Physikalischen Chemie dar. Die Forschenden beklagen nicht nur die mangelnde Nutzung der Teilchenperspektive durch Studierende aufgrund der geringen Ausprägung studentischer Vorstellungen, sie heben darüber hinaus die Vernachlässigung der Teilchenperspektive in der Instruktion hervor.

Erste Ergebnisse der vorgestellten Untersuchungen indizieren, dass physikochemische Themen deutschlandweit einen signifikanten curricularen Anteil an der Eingangsphase des Chemiestudiums haben. Darüber hinaus zeigt sich, dass deutsche Studienanfänger nur schwer angemessene Teilchenvorstellungen zu Kernthemen der Thermodynamik und Kinetik aufbauen, und dass die submikroskopische Ebene in deutschen Lehrbüchern im Vergleich zur makroskopischen und symbolischen Ebene seltener dargestellt wird.

Zukünftige Arbeiten sollten sich mit der Frage beschäftigen, welche instruktionalen Settings die Einbindung der Teilchenebene fördern und ob dies tatsächlich das Konzeptverständnis positiv beeinflusst.

**Literatur**

- Becker, N., Rasmussen, C., Sweeney, G., Wawro, M., Towns, M., & Cole, R. (2013). Reasoning using particulate nature of matter: An example of a sociochemical norm in a university-level physical chemistry class. *Chemistry Education Research and Practice*, 14(1), 81–94.
- Becker, N., & Towns, M. (2012). Students' understanding of mathematical expressions in physical chemistry contexts: An analysis using Sherin's symbolic forms. *Chemistry Education Research and Practice*, 13(3), 209–220.
- Bosse, E., & Trautwein, C. (2014). Individuelle und institutionelle Herausforderungen der Studieneingangsphase. *Zeitschrift für Hochschulforschung*, 9(5), 41–62.
- Cartier, S. F. (2009). An integrated, statistical molecular approach to the physical chemistry curriculum. *Journal of Chemical Education*, 86(12), 1397–1402.
- Gkitzia, V., Salta, K., & Tzougraki, C. (2011). Development and application of suitable criteria for the evaluation of chemical representations in school textbooks. *Chemistry Education Research and Practice*, 12(1), 5–14.
- Hadfield, L. C., & Wieman, C. E. (2010). Student interpretations of equations related to the first law of thermodynamics. *Journal of Chemical Education*, 87(7), 750–755.
- Heidebrecht, T. (2018). Evaluation der drei Ebenen des chemischen Dreiecks in Lehrbüchern am Übergang zwischen der Schule und der Hochschule im Bereich der Elektrochemie. Universität Bielefeld.
- Heublein, U., Ebert, J., Hutzsch, C., Isleib, S., König, R., Richter, J., & Woisch, A. (2017). Zwischen Studiererwartungen und Studienwirklichkeit. *Forum Hochschule* (Vol. 1). Hannover.
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of computer assisted learning*, 7(2), 75–83.
- Mayring, P. (2002). *Einführung in die qualitative Sozialforschung: eine Anleitung zu qualitativem Denken*. Weinheim und Basel: Beltz.
- Nyachwaya, J. M., Warfa, A.-R. M., Roehrig, G. H., & Schneider, J. L. (2014). College chemistry students' use of memorized algorithms in chemical reactions. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(1), 81–93.
- Nyachwaya, J. M., & Wood, N. B. (2014). Evaluation of chemical representations in physical chemistry textbooks. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(4), 720–728.
- Peperkorn, Y. (2018). *Der Umfang an Physikalischer Chemie in der Studieneingangsphase*. Universität Bielefeld.
- Primas, H. (1985). Kann Chemie auf Physik reduziert werden? Teil 2. *Chemie in unserer Zeit*, 19(5), 160–166.
- Schummer, J. (1998). Physical chemistry: Neither fish nor fowl? In P. Janich & N. Psarros (Eds.), *The Autonomy of Chemistry* (pp. 135–148). Würzburg: Königshausen & Neumann.
- Schwedler, S. (2017). Was überfordert Chemiestudierende zu Studienbeginn? *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23, 165–179.
- Schwedler, S. (2019a). Wie schnell sind die Teilchen denn jetzt? Studienanfänger des Fachs Chemie entwickeln dynamische Vorstellungen zur Maxwellverteilung mit BIRC. *Chemie Konkret*, 26(1), 12–22.
- Schwedler, S. (2019b). Analyse des Studienstarts in Chemie - Wege aus der fachdidaktischen Überforderung. Universität Bielefeld.
- Schwedler, S., & Lyczek, M. (2019). Punktmassen oder Mini-Billiardkugeln? Moleküldynamiksimulationen stärken Lernervorstellungen zu idealen Gasen im Chemiestudium. *Chemie Konkret*.
- Sözbilir, M. (2004). What Makes Physical Chemistry Difficult? Perceptions of Turkish Chemistry Undergraduates and Lecturers. *Journal of Chemical Education*, 81(4), 573.
- Stamovlasis, D., Tsapalis, G., Kamilatos, C., Papaioikonomou, D., & Zarotiadou, E. (2005). Conceptual understanding versus algorithmic problem solving: Further evidence from a national chemistry examination. *Chemistry Education Research and Practice*, 6(2), 104–118.
- Tsapalis, G., & Finlayson, O. E. (2014). Physical chemistry education: Its multiple facets and aspects. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(3), 257–265.