

## **Productive-Failure zur Förderung des Konzeptverständnisses**

### **Ausgangslage und Zielsetzung**

In den letzten Jahren haben Productive-Failure-Settings aufgrund ihres positiven Einflusses auf das konzeptionelle Verständniss (Kapur & Bielaczyc, 2012; Loibl & Rummel, 2017) zunehmend Aufmerksamkeit erhalten. Diese Lernansätze beinhalten eine anfängliche Problemlösesaufgabe und enden mit einer Instruktionsphase (problem-solving-prior-to-instruction: PS-I, Kapur & Bielaczyc, 2012). Sie kehren damit die Logik klassischer Lernansätze um (instruction-prior-to-problem-solving: I-PS, Kirschner, Sweller & Clark, 2006). Zentral für diesen Lernansatz ist, dass die Lernenden vorinstruktional mit einer Problemlösesaufgabe konfrontiert werden, für die sie noch kein tragfähiges wissenschaftliches Konzept besitzen (Kapur, 2010; Kapur & Bielaczyc, 2012). Die Lernenden bleiben unsicher über die Tragfähigkeit ihrer eigenen Lösungsansätze. Diese als Scheitern (aus *failure* übersetzt) bezeichnete erlebte Unsicherheit (Hundertmark, 2021), ist nicht wortwörtlich als empfundenes Scheitern zu verstehen. In der Problemlösephase erstellen die Lernenden Darstellungs- und Lösungsansätze und erkunden ihre Grenzen und Möglichkeiten zu neuartigen Konstruktionsproblemen. Hierbei aktivieren und differenzieren die Lernenden ihr Vorwissen, was sie besser auf die Instruktionsphase vorbereitet, um entscheidende konzeptionelle Merkmale der angestrebten fachwissenschaftlichen Konzepte zu beachten und zu lernen (Kapur, 2010; Kapur & Bielaczyc, 2012; Loibl & Leuders, 2019). In der anschließenden Instruktionsphase werden die notwendigen Konzepte zur Lösung der Problemlöseaufgabe vermittelt, wobei die Vorstellungen und Lösungsskizzen der Lernenden einbezogen und mit den wissenschaftlich anerkannten Konzepten verglichen werden. Das Aufgreifen der schülergenerierten Lösungsansätze fördert das Bewusstsein der Lernenden für die Grenzen ihres bisherigen Wissens und die Anerkennung der wissenschaftlichen Konzepte (Kapur, 2010; Kapur & Bielaczyc, 2012; Loibl & Leuders, 2019). Außerdem hilft dies den Lernenden das notwendige und ihnen fehlende Konzeptwissen mit dem eigenen Vorwissen zu verknüpfen und somit Wissenslücken zu schließen (Hundertmark, 2021). Die Produktivität des Ansatzes wird damit durch drei zentrale Wirkmechanismen erklärt: Aktivierung des Vorwissens, Bewusstsein für Wissenslücken und Identifizierung von Tiefenstrukturen des Zielkonzepts (Loibl et al., 2017).

Kern der bisherigen PF-Forschung ist es, den Lernzuwachs durch den Vergleich PS-I und I-PS nachzuweisen (z.B. Kapur, 2010, 2014; Kapur & Bielaczyc, 2012; Loibl & Rummel, 2014a/b). Allerdings lässt sich durch diesen Vergleich nur schwer nachweisen, welche spezifischen Bestandteile bzw. Aktivitäten der Problemlösephase mit den angenommenen Wirkmechanismen und somit der Effektivität des PF-Ansatzes einhergehen. So gibt es z.B. noch kein differenziertes Bild über die Wirkmechanismen beim Vergleich kollaborativ vs. individuelles Problemlösen in einer PS-I-Situation. Die Studie, die diesem Bericht zugrunde liegt, untersucht den Einfluss des Vorwissens auf die Konzeptentwicklung während der kollaborativen im Vergleich zur individuellen Problemlösephase.

### **Forschungsfragen**

FF1: Inwiefern leistet die Problemlösephase eine Aktivierung des Vorwissens?

FF2: Inwiefern wirkt sich das Vorwissen auf die individuelle Konzeptentwicklung aus?

FF3: Inwiefern sind in FF1 und FF2 Unterschiede in kollaborativen versus individuellen Problemlösephasen zu verzeichnen?

### **Bisheriges Vorgehen**

Der Ausgangspunkt für diese Studie ist die Generierung eines chemiespezifischen Beispiels für den Productive-Failure-Ansatz. Theoriegeleitet wurde eine PS-I-Lernumgebung zum Thema Mischbarkeit (*Was passiert mit dem Salz und dem Öl im Nudelwasser*) entwickelt. In einer anschließenden ersten Evaluation durch zwei ExpertInnen aus der PS-I-Forschung konnten in einem offenen Interview Ergebnisse zur Weiterentwicklung der PS-I-Lernumgebung mit Schwerpunkt auf die PS-Phase ermittelt werden. Dabei bestand die größte Herausforderung in der Gestaltung einer authentischen Problemlösephase, die Erkundungen von Ideen ermöglicht, dabei (alternative) Konzepte aktiviert und genügend Informationen liefert, um Erklärungen die auf alternativen Konzepten basieren zu überprüfen und bestenfalls zu widerlegen.

### *Inhalt*

Der inhaltliche Schwerpunkt liegt auf der Erweiterung des Konzeptes Wechselwirkungen von Teilchen im Kontext der Mischbarkeit (Jhg. 5-7). Vorausgesetzt wird hierfür das basale Teilchenmodell zur Erklärung der Aggregatzustände eines Stoffes unter Einbezug der Annahme von Anziehungskräften zwischen Teilchen, wie es auch in Lehrbüchern gelehrt wird (Arnold et al., 2017; Asselborn et al., 2020; Bresler, 2007; Kraft & Ratermann, 2015): *Zwischen den Teilchen einer Sorte herrschen die Anziehungskräfte, was den Zusammenhalt der Teilchen ermöglicht.* Zunächst erkennen die Lernenden, dass für das Mischen (z.B. Salz und Wasser) und die Nicht-Mischbarkeit zweier Reinstoffe (z.B. Wasser und Öl) Stoffeigenschaften nicht herangezogen werden können. Das Teilchenmodell ist nun derart anzuwenden, dass Aussagen über das Verhalten von Teilchen *verschiedener* Sorten zueinander getroffen werden kann.

### *Umsetzung Problemlösephase*

Ein kennzeichnendes Merkmal der Chemie ist, dass die Antwortfindung für Phänomene durch eine praktische Erprobung erfolgen kann. Folglich ist es das Ziel, dass die Lernenden in der Problemlösephase experimentell arbeiten. Die Lernenden werden aufgefordert, Annahmen über das unterschiedliche Verhalten von Stoffen in Wasser zu treffen. Dabei stehen den Lernenden verschiedene Stoffe zur Verfügung, die sie auf ihre Mischbarkeit mit Wasser testen können. Hier bekommen die Lernenden die Möglichkeit durch viele kleine Experimente, bei denen eine Variable verändert werden kann, ihre Ideen zu erkunden und verschiedene Lösungsansätze zu vergleichen. Den Lernenden werden Steckbriefe von Stoffen bereitgestellt. Diese Stoffeigenschaften ermöglichen es den Lernenden ein begründetes Ausschließen alternativer Konzepte als Erklärung für (Nicht-)Mischbarkeit herzuleiten.

### *Umsetzung Instruktionsphase*

In der Instruktionsphase werden die ermittelten theoriebasierten Lernendenvorstellungen (Größ-Niehaus & Schanze, 2011) zur Mischbarkeit (unterschiedliche Dichte, Änderung des Aggregatzustandes, Verschwinden von Teilchen) aufgegriffen und mit dem wissenschaftlich anerkannten Konzept verglichen und widerlegt. Die Instruktionsphase weist eine kombinierte

Nutzung von Aufgaben, Erklärvideos und Texten auf. Dabei werden die Lernenden durch die digitale Lerneinheit wie folgt geführt:

- Optionale Wiederholung folgender Begriffe: Reinstoffe, heterogene/homogene Reinstoffe
- Aufgreifen von Lernendenvorstellungen zur (Nicht-)Mischbarkeit durch alltagsnahe Beispiele (Video)
- Vergleich der eigenen Lösungsansätze mit den Vorstellungen aus dem Video (Aufgabe)
- Erklärung des wissenschaftlich anerkannten Konzepts (Video)
- Transferaufgabe (Salatdressing)

### Studiendesign

Die Studie folgt dem quasi-experimentellen Design einer Interventionsstudie (s. Abb. 1). In einer Doppelstunde (90 Minuten) bearbeiten die Lernenden die Problemlöseaufgabe (40 Minuten) mit der anschließenden Instruktion (45 Minuten). In der Problemlösephase erfolgt eine zufällige Zuordnung der Lernenden in kollaboratives (Dreiergruppen) und individuelles Problemlösen. Dabei werden Audio- und Videoaufnahmen während der Arbeits- und Experimentierphase erhoben, um Rückschlüsse auf die Rolle des Vorwissens der Lernenden und die diskutierten Lösungsansätze zu erhalten. Damit dies auch bei dem individuellen Problemlösen nachvollzogen werden kann, bearbeiten die Lernenden die Problemlösung mithilfe des *Lauten Denkens*. Die anschließende Instruktionsphase erfolgt in Einzelarbeit. Alle Gruppen und Einzelpersonen erhielten dieselbe Problemlöseaufgabe und Instruktionsphase.

Um die Effektivität des PS-I-Ansatzes zu beurteilen und die Prozessdaten bzw. die Rolle des Vorwissens und die individuelle Konzepterweiterung in der Problemlösephase auswerten zu können, wurde das Konzeptverständnis per Vor- und Nachtest in Form eines Concept Cartoons erhoben (jeweils 15 Minuten in der Unterrichtsstunde vor bzw. nach der PS-I-Erhebung). Hier überlegen die Lernenden, wie sich das Phänomen von Crushed Ice in Wasser erklären lässt. Dabei sehen die Lernenden ein Foto von Crushed Ice in Wasser und vier typische Lernendenvorstellungen für den Themenbereich der Mischbarkeit. Zu jeder dieser vier Aussagen nehmen die Lernenden begründet Stellung.



Abb.1: Design der Studie.

### Aktueller Stand und Ausblick

Das Studiendesign wurde an einem niedersächsischen Gymnasium (Jhg. 7) erprobt. Aufgrund der geringen Kenntnisse der Lernenden mit digitalen Endgeräten wurde die Erprobung der Studie analog durchgeführt, was allerdings zu einem erheblichen Zeit- und Betreuungsaufwand führte. Aus dieser Erfahrung bleibt das Projekt für weitere Studien bei der ursprünglichen Planung, die Lernenden über ein Tablet durch die Studie zu begleiten.

Derzeit erfolgt die Analyse der Prozessdaten und Lernendenvorstellungen der Problemlösephase. Bisher zeigt sich, dass die Problemlösephase das Vorwissen der Lernenden aktiviert. Wie intendiert kommen die Lernenden mit unterschiedlichem Vorwissen in die Problemlösephase und diskutieren auf dieser Basis in ihren Gruppen verschiedene Lösungsansätze. Auch kann insgesamt schon gesagt werden, dass die Auswertung der Pre- und Post-Tests eine Konzeptentwicklung der Lernenden aufzeigt, was die Effektivität des PS-I-Ansatzes (Kapur & Bielaczyc, 2012; Loibl et al., 2017) bestätigen würde.

## Literatur

- Asselborn, W.; Jäckel, M.; Dr. Risch, K. T. & Dr. Sieve, B. (2020). *Chemie heute – Sekundarbereich 1 Gesamtband* (Druck A). Westermann Gruppe, Westermann Schroedel Diesterweg Schöningh Winklers GmbH: Braunschweig.
- Bresler, S (2007). *Physik/Chemie interaktiv* (Ausgabe N). Cornelsen Verlag GmbH: Berlin.
- Größ-Niehaus, T. & Schanze, S. (2011). Eine kategoriegestützte Übersicht von Lernervorstellungen zum Löslichkeitsbegriff. *CHEMKON*, 18 (1), S. 19–26.
- Hundertmark, S. (2021). Productive Failure beim Chemielernen. Eine Studie zum Einfluss von Problemlösen vor der Instruktion auf die Entwicklung des Konzeptverständnisses. In: S. Habig (Eds.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, 41, pp. 525-528.
- Kapur, M. (2014). Productive failure in learning math. *Cognitive Science*, 38(5), 1008-1022.
- Kapur, M. & Bielaczyc, K. (2012). Designing for productive failure. *The Journal of the Learning Sciences*, 21(1), 45-83.
- Kapur, M. (2010). Productive failure in mathematical problem solving. *Instructional Science*, 38, 523–550.
- Kirschner, P.A., Sweller, J., & Clark, R.E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: an analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry- based teaching. *Educational Psychologist*, 41, 75-86.
- Kraft, L. & Ratermann, M. (2015). *NEO Chemie Gesamtband SI*. Westermann Gruppe, Westermann Schroedel Diesterweg Schöningh Winklers GmbH: Braunschweig.
- Loibl, K.; Tillema, M.; Rummel, N. & van Gog, T. (2020). The effect of contrasting cases during problem solving prior to and after instruction. *Instructional Science*, 48, 115-136.
- Loibl, K., & Leuders, T. (2019). How to make failure productive: Fostering learning from errors through elaboration prompts. *Learning and Instruction*, 62, 1–10.
- Loibl, K. & Leuders, T. (2018). Errors During Exploration and Consolidation—The Effectiveness of Productive Failure as Sequentially Guided Discovery Learning. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 39 (1), 69-96.
- Loibl, K. & Rummel, N. (2017). Knowing what you don't know makes failure productive. *Learning and Instruction*, 34, 75-85.
- Loibl, K., Roll, I. & Rummel, N. (2017). Towards a theory of when and how problem solving followed by instruction supports learning. *Educational Psychology Review*, 29(4), 693-715.
- Loibl, K. & Rummel, N. (2014a). Knowing what you don't know makes failure productive. *Learning and Instruction*, 34, 74–85.
- Loibl, K. & Rummel, N. (2014b). The impact of guidance during problem solving prior to instruction on students' inventions and learning outcomes. *Instructional Science. Instructional Science*, 42 (3), 305–326