

## **Untersuchung einer chemie-spezifischen Learning Progression für die SII**

### **Theoretischer Hintergrund**

In der kognitiven und pädagogischen Psychologie wird oft betont, dass Lernen in der Regel kumulativ erfolgt (Lee, 2012). Insbesondere in Fächern, die stark hierarchisch strukturiert sind, ist eine sukzessive Wissensentwicklung wesentlich (Fischer et al., 2006). Um anschlussfähiges Lernen zu fördern, sollten neue Wissens Elemente an schon bestehende Wissensstrukturen anknüpfen (Fischer et al., 2006). Bei der Entwicklung der Bildungsstandards im Fach Chemie für die Allgemeine Hochschulreife wurde im Sinne kumulativen Lernens die Anschlussfähigkeit an die Vorgaben für den Mittleren Schulabschluss berücksichtigt (KMK, 2020). Ein vertieftes Verständnis und eine Vernetzung von chemischen Sachverhalten soll unter Verwendung von Basiskonzepten gefördert werden (KMK, 2020). Allerdings wird nicht beschrieben, wie die erforderliche Vernetzung durch kumulatives Lernen erreicht werden kann. Diesbezüglich stellt eine Learning Progression ein geeignetes Modell dar, den kumulativen Erwerb chemischer Sachverhalte darzulegen. Learning Progressions beschreiben mögliche Lernwege, Konzepte (Kernideen) kumulativ über einen bestimmten Zeitraum zu erwerben (Corcoran et al., 2009; Duschl et al., 2007). Die hypothetisch angenommenen Lernwege können mithilfe von Strand Maps dargestellt werden. Strand Maps bilden die Abhängigkeiten zwischen den Kernideen und damit die Richtung der Lernwege mit Pfeilen schrittweise ab (AAAS, 2007), und machen somit die systematisch-hierarchische Reihenfolge der Kernideen deutlich. Für die SI wurden bereits chemie-spezifische Learning Progressions entwickelt und validiert (z. B. Celik, 2022; Weber, 2018). Dagegen wurden noch keine chemie-spezifische Learning Progression für die SII validiert.

### **Ziele**

Bislang ist noch keine validierte Learning Progression vorhanden, die die sukzessive Wissensentwicklung im Übergang von der SI zur SII oder innerhalb der SII im Fach Chemie verdeutlicht. Ziele des Projekts sind daher zum einen die Entwicklung und fachliche Validierung einer chemie-spezifischen Learning Progression für die SII mit Fokus auf Inhalt und Struktur und zum anderen die empirische Validierung der Learning Progression mit Fokus auf die angenommenen Lernwege im Konzept der chemischen Reaktion.

### **Studiendesign**

Um den Zielen nachzugehen, wurden auf Basis der Bildungsstandards und unter Zuhilfenahme von Lehrplänen, Schulbüchern und Fachbüchern chemie-spezifische Kernideen für alle drei Basiskonzepte der SII erarbeitet. Analog zu Celik (2022) wurde jede einzelne Kernidee in einem Satz prägnant beschrieben und durch Aspekte, die für das Verständnis der Kernidee in ihrer Gänze notwendig sind (Erwartungen) bzw. noch nicht zwingend notwendig sind (Grenzen) sowie typische Schülerfehlvorstellungen konkretisiert. Anschließend wurden die formulierten Kernideen für die SII untereinander und mit Kernideen für die SI (Celik, 2020) in einer hierarchisch-logischen Reihenfolge vernetzt. Diese Vernetzung wurde analog zu AAAS (2007) und Celik (2022) in einer Strand Map dargestellt. In einem iterativen Prozess

erfolgte eine fachliche Überprüfung und Überarbeitung der beschriebenen Kernideen sowie deren Vernetzung durch eine Expertengruppe aus Lehrkräften und Fachdidaktikern ( $N=7$ ). Die empirische Validierung der hypothetisch angenommenen Lernwege erfolgte exemplarisch für die Kernideen des Basiskonzepts Chemische Reaktion, die mit Kernideen der SI und innerhalb der SII vernetzt sind. Dafür wurden zu jeder dieser Kernideen auf Grundlage von fachlichen Überlegungen und der zugrunde liegenden Erwartungen sechs Multiple-Choice Single-Select Items entwickelt. Diese wurden in einem Multi-Matrix-Design in allen drei Jahrgängen der SII sowie an der Universität eingesetzt und mittels Item-Response-Theorie ausgewertet. Die Testheftgestaltung erfolgte dabei unter Berücksichtigung der angenommenen Lernwege. Demnach enthielten die Testhefte immer Items von in Abhängigkeit stehenden Kernideen. Nach der Überprüfung der Testgüte konnten die angenommenen Abhängigkeiten zwischen den Kernideen mittels McNemar-Tests untersucht werden. Dazu wurde eine Kernidee als verstanden gewertet, wenn mindestens vier der sechs Items<sup>1</sup> richtig bearbeitet wurden. Basierend auf diesen Daten wurden anschließend die Abhängigkeiten zwischen je zwei Kernideen auf Signifikanz überprüft.

### Ergebnisse

Im Rahmen der Expertenvalidierung fanden mehrere ganztägige Treffen statt, bei denen für jede Kernidee die Formulierung der Kernidee, die Erwartungen, Grenzen sowie Schülerfehlvorstellungen überprüft und ggf. angepasst wurden, bzw. bei Bedarf neue Kernideen formuliert wurden. Von den 75 für die SII als wichtig erachteten Kernideen können 13 Kernideen dem *Energiekonzept*, 23 Kernideen dem *Konzept der chemischen Reaktion* und 39 Kernideen dem *Konzept vom Aufbau und von den Eigenschaften der Stoffe und ihrer Teilchen* zugeordnet werden. Nach Finalisierung der Kernideen wurden diese miteinander sowie mit Kernideen für die SI vernetzt - es liegen keine Kernideen unvernetzt vor. Die Vernetzung wurde von der Expertengruppe unter Bezugnahme der Erwartungen der einzelnen Kernideen fachlich validiert. Um in einem nächsten Schritt die angenommene hierarchische Struktur und die Vernetzungen empirisch zu überprüfen, wurde zunächst die Testgüte des entwickelten Testinstrumentes ( $N_{\text{Items}}=184^2$ ) mithilfe eines eindimensionalen Rasch-Modells untersucht. Die Ergebnisse zeigen zufriedenstellende Kennwerte auf ( $Rel_{\text{Item}}=.89$ ,  $Rel_{\text{Personen}}=.86$ ,  $.83 \leq \text{Infit-MNSQ} \leq 1.25$ ), weshalb weitere Analysen auf Grundlage der Items möglich sind. Von einer inhaltlichen Validität der Items kann ausgegangen werden, da diese auf Grundlage der Erwartungen einer Kernidee entwickelt wurden. Ein Vergleich der Anzahl der Kernideen, die im Durchschnitt pro Testheft verstanden wurden, zeigt, dass es zwischen Einführungsphase ( $N=177$ ), Qualifikationsphase 1 ( $N=114$ ) und 2 ( $N=131$ ) sowie Studienphase ( $N=63$ ) signifikante Unterschiede mit starkem Effekt gibt ( $F(3, 203.883) = 84.963$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .291$ ). Eine post-hoc-Analyse mit Bonferroni-Korrektur verdeutlicht, dass sich die Qualifikationsphase 1 und 2 nicht signifikant unterscheiden, während sich signifikante Unterschiede zwischen der Einführungsphase, Qualifikationsphase und Studienphase zeigen ( $p < .001$ ).

Insgesamt wurden mit dem McNemar-Test 17 Abhängigkeiten zwischen Kernideen der SI und SII und 19 Abhängigkeiten zwischen den Kernideen innerhalb der SII auf Signifikanz überprüft. Von den 36 hypothetischen Abhängigkeiten zwischen zwei Kernideen erweisen

---

<sup>1</sup> Bei mindestens vier von sechs bzw. fünf richtig beantwortet Items liegt die Ratewahrscheinlichkeit bei einer binomialverteilten Zufallsvariable zum Parameter 0.5 unter fünf Prozent

<sup>2</sup> zwei fehlerhafte Items wurden aus der Analyse entfernt

sich 21 als signifikant; auf Grundlage der Daten wird vorerst auch angenommen, dass die Richtung der Lernwege bestätigt werden kann. Bei der Betrachtung der nicht signifikanten Fälle lässt sich feststellen, dass die Schülerinnen und Schüler oftmals beide Kernideen nicht verstehen. Daraus folgt, dass zunächst keine Aussagen zu diesen Abhängigkeiten getroffen werden können. Die vorliegenden Ergebnisse sollten mit Vorsicht interpretiert werden, da bedingt durch das Multi-Matrix-Design teilweise weniger als 100 Antworten pro Item vorliegen.

### **Diskussion und Ausblick**

Die fachlich validierte Learning Progression weist eine hierarchische Struktur auf, in der deutlich wird, dass Kernideen der SII an die SI anschließen und innerhalb der SII eine Vernetzung vorliegt. Empirisch lassen sich die Abhängigkeiten nichtsdestotrotz nur in Teilen bestätigen. Dies lässt sich möglicherweise darauf zurückführen, dass schon ein Mangel am Verständnis der Kernideen aus der SI vorliegt. Dadurch ist anzunehmen, dass keine vernetzte Wissensstruktur vorhanden sein kann, was wiederum eine empirische Untersuchung der Abhängigkeiten erschwert. Dieser Befund deckt sich mit Ergebnissen aus verschiedenen Studien, die verdeutlichen, dass chemisches Fachwissen von Schülerinnen und Schülern sowie Studierenden sehr heterogen ist und Fachwissensdefizite vorliegen (Averbeck, 2021; Behrendt, 2022; Celik, 2022; Hailikari & Nevgi, 2010; Hülsmann, 2015). Um ein anschlussfähiges Lernen zu garantieren, sollten Lehrkräfte sicherstellen, dass die Kernideen, die vorsetzend für den Erwerb einer bestimmten Kernidee sind, von Schülerinnen und Schülern beherrscht werden. Unterstützungsmaßnahmen dafür könnten die fachlich validierte Learning Progression sowie der an die Learning Progression adaptierte Fachwissenstest sein. Die Learning Progression verdeutlicht, wie Kernideen kumulativ im Fach Chemie erworben werden können und wie diese vernetzt sind. Dies ermöglicht die Planung strukturierter Lerneinheiten. Das Testinstrument wiederum ermöglicht die Ermittlung des Wissensstands und somit auch der Wissensdefizite, wodurch es auch als Diagnoseinstrument fungieren kann. Insofern Fachwissensdefizite ermittelt werden, können gezielt Fördermaßnahmen getroffen werden, sodass danach ein anschlussfähiges Lernen möglich ist.

## Literatur

- American Association for the Advancement of Science (AAAS). (2007). *Atlas of Science Literacy*. Volume 2. DC: AAAS.
- Averbeck, D. (2021). *Zum Studienerfolg in der Studieneingangsphase des Chemiestudiums: Der Einfluss kognitiver und affektiv-motivationaler Variablen*. *Studien zum Physik- und Chemielernen: Bd. 308*. Logos Berlin.
- Behrendt, A. (2022). *Chemiebezogene Kompetenzen in der Übergangsphase zwischen dem Sachunterricht der Primarstufe und dem Chemieunterricht der Sekundarstufe I*. *Studien zum Physik- und Chemielernen: Bd. 336*. Logos Berlin.
- Celik, K. N. (2022). *Entwicklung von chemischem Fachwissen in der Sekundarstufe I. Validierung einer Learning Progression für die Basiskonzepte „Struktur der Materie, Chemische Reaktion und Energie“ im Kompetenzbereich Umgang mit Fachwissen*. *Studien zum Physik- und Chemielernen: Bd. 325*. Logos Verlag.
- Corcoran, T., Mosher, F. & Rogat, A. (2009). *Learning Progressions in Science: An Evidence-Based Approach to Reform*. *CPRE Research Report*.
- Duschl, R. A., Schweingruber, H. A. & Shouse, A. W. (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8*. National Academies Press.
- Fischer, H. E., Glemnitz, I., Kauertz, A. & Sumfleth, E. (2006). Auf Wissen aufbauen - kumulatives Lernen in Chemie und Physik. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Springer-Lehrbuch. Physikdidaktik: Theorie und Praxis* (S. 657–678). Springer-Verlag. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-34091-1\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-540-34091-1_22)
- Hailikari, T. K. & Nevgi, A. (2010). How to Diagnose At-risk Students in Chemistry: The case of prior knowledge assessment. *International Journal of Science Education*, 32(15), 2079–2095. <https://doi.org/10.1080/09500690903369654>
- Hülsmann, C. (2015). *Kurswahlmotive im Fach Chemie: Eine Studie zum Wahlverhalten und Erfolg von Schülerinnen und Schülern in der gymnasialen Oberstufe*. *Studien zum Physik- und Chemielernen: Bd. 195*. Logos Berlin.
- Lee, J. (2012). Cumulative Learning. In N. M. Seel (Hrsg.), *Encyclopedia of the Sciences of Learning* (S. 887–893). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1428-6\\_1660](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1428-6_1660)
- Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (KMK). (2020). *Bildungsstandards im Fach Chemie für die Allgemeine Hochschulreife*. [https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen\\_beschluesse/2020/2020\\_06\\_18-BildungsstandardsAHR\\_Chemie.pdf](https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2020/2020_06_18-BildungsstandardsAHR_Chemie.pdf)
- Weber, K. (2018). *Entwicklung und Validierung einer Learning Progression für das Konzept der chemischen Reaktion in der Sekundarstufe I*. *Studien zum Physik- und Chemielernen: Bd. 263*. Logos Berlin.