

Dennis Kirstein<sup>1</sup>  
Maik Walpuski<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universität Duisburg-Essen

## **Lernvoraussetzungen als Bedingungsfaktoren für Schwierigkeiten beim Experimentieren**

### **Theoretischer Rahmen**

Die Ermöglichung individualisierten Lernens stellt im Chemieunterricht eine wichtige Aufgabe für Lehrkräfte dar. Wichtige Aspekte hierzu sind vor allem eine auf die individuellen Bedürfnisse ausgerichtete lernprozessbegleitende Diagnose (Kallweit & Melle, 2016; Sumfleth, 2015) sowie Unterstützungsangebote mit einer hohen Passung zwischen der individuellen Lernausgangslage und der Lernumgebung (Arnold & Richert, 2008). Da dem Experimentieren eine wichtige Funktion für einen ganzheitlichen Kompetenzerwerb im Fach Chemie zukommt (Lederman et al., 2013; Wirth et al., 2008), müssen Maßnahmen zur Individualisierung insbesondere und in spezifischer Art und Weise für das Experimentieren umgesetzt und diskutiert werden. Im Chemieunterricht haben sich insbesondere kooperative Experimentieraufgaben bewährt (u.a. Walpuski, 2006; Knobloch, 2011), bei denen die Schülerinnen und Schüler eigenständig in Kleingruppen einen chemischen Zusammenhang untersuchen und erarbeiten. Zu Schwierigkeiten und Fehlern beim eigenständigen Experimentieren liegen bereits erste Erkenntnisse zu einzelnen Inhaltsbereichen vor (Wahser, 2006; Kechel, 2016; Baur, 2018). Schwierigkeiten werden hierbei als erschwerte Lernsituationen (Gold, 2018) aufgefasst, die sich in Minderleistungen oder übermäßig hohen Anstrengungen in Bezug auf einzelne Teillernziele im Lernprozess ausdrücken (vgl. Kechel, 2016). Lassen sich diese Abweichungen anhand objektiv beurteilbarer Maßstäbe, wie etwa fachbezogene Konzepte, beurteilen, spricht man von Fehlern (Oser & Psychiger, 2005).

Als allgemeine Ursachen für das Auftreten von Schwierigkeiten werden endogene und exogene Bedingungsfaktoren diskutiert (Leitner, Ortner & Ortner, 2008; Heimlich, 2016; Gold, 2018). Während exogene Bedingungsfaktoren unter anderem das Lernumfeld und die Lernangebote umfassen, beziehen sich endogene Bedingungsfaktoren auf die individuell verfügbaren Ressourcen von Schülerinnen und Schülern (Gold, 2018). In Bezug auf erfolgreiches Lernen im naturwissenschaftlichen Unterricht kommen hier vor allem das prozessbezogene Vorwissen zum Experimentieren, die kognitiven Grundfähigkeiten und das konzeptbezogene Vorwissen in Frage (vgl. Stender et al., 2018). Für den naturwissenschaftlichen Unterricht konnte Kechel (2016) im Rahmen einer qualitativen Studie zeigen, dass Schülerinnen und Schüler retrospektiv individuelle Lernvoraussetzungen als maßgeblich für auftretende Schwierigkeiten sehen.

### **Ziel und Forschungsfragen**

Welche individuellen Lernvoraussetzungen konkret als Bedingungsfaktoren verantwortlich sind und inwieweit diese sich auch auf das Auftreten von Schwierigkeiten und Fehler auswirken, ist für das eigenständige Experimentieren insbesondere im Fach Chemie noch nicht näher untersucht worden. Hierzu fehlen vor allem quantifizierende Untersuchungen dazu, wie individuelle Lernvoraussetzungen und das Auftreten von Schwierigkeiten und Fehlern zusammenhängen. Ziel der vorgestellten Untersuchung ist es daher, mögliche

Ursachen für das Auftreten von Schwierigkeiten und Fehlern unter besonderer Berücksichtigung individueller Lernvoraussetzungen zu identifizieren.

### **Untersuchungsdesign**

Die Untersuchung wurde im Rahmen des zweiten Lernjahres Chemie an unterschiedlichen Schulformen in der Metropolregion Rhein-Ruhr des Landes Nordrhein-Westfalen durchgeführt. Dabei wurden die Bearbeitungsprozesse von 101 Schülerinnen und Schülern bei Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben zu den Themen „Batterien“, „Ozeanversauerung“ und „Mineralwasser“ in einem Mixed-Methods-Ansatz untersucht. Das konzeptbezogene Fachwissen (Celik & Walpuski, 2020; eigene Entwicklung), das prozessbezogene Wissen zum Experimentieren (Mannel, 2010; Koenen, 2014) sowie die kognitiven Fähigkeiten (Heller & Perleth, 2000) als relevante Lernvoraussetzungen beim Experimentieren wurden mit Hilfe von Leistungstests mit Multiple-Choice-Single-Select-Items erfasst. Aufgrund der inhaltlichen Ausrichtung des konzeptbezogenen Fachwissens an die unterschiedlichen Experimentieraufgaben wurde die Tests spezifisch im Sinne eines Multi-Matrix-Designs zusammengestellt und eingesetzt. Das konzeptbezogene Fachwissen wurde vor und nach der Bearbeitung der Experimentieraufgaben erhoben, um Hinweise auf den Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler zu erhalten. Die Experimentierphasen wurden zusätzlich standardisiert videographiert. Die Auswertung der Leistungstests erfolgt IRT-basiert (Boone, Staver & Yale, 2014). Für das prozessbezogene Wissen zum Experimentieren und die kognitiven Grundfähigkeiten in eindimensionalen Rasch-Modellen, während das konzeptbezogene Fachwissen aufgrund als mehrdimensionale Rasch-Modelle mit Ankerung und fixierten Itemparametern (vgl. Kolen & Brennan, 2014) skaliert wurden. Die Auswertung der Schwierigkeiten in den Bearbeitungsprozessen erfolgte im Rahmen einer strukturierenden Inhaltsanalyse (Mayring, 2015) der Videodaten unter Anwendung eines von den Autoren entwickelten und bereits evaluierten Verfahrens (vgl. Kirstein & Walpuski, 2020). Abschließend wurden Leistungs- und Prozessdaten mit Hilfe binär logistischer Regressionsanalysen (Kalisch & Meier, 2021) auf Zusammenhänge untersucht.

### **Ergebnisse**

Die eingesetzten Messverfahren weisen insgesamt eine hinreichend hohe Messqualität auf. Für die Leistungstests zu den kognitiven Grundfähigkeiten ( $Rel_{WLE} = 0,858$ ), zum prozessbezogenen Wissen ( $Rel_{WLE} = 0,678$ ) und zum konzeptbezogenen Fachwissen vor ( $0,681 \leq Rel_{WLE} \leq 0,798$ ) und nach ( $0,850 \leq Rel_{WLE} \leq 0,891$ ) der Bearbeitung liegen hohe Reliabilitäten vor. Die Erfassung der in den Experimentierphasen beobachtbaren Schwierigkeiten durch zwei unabhängige Kodierer liegt ebenfalls in einem guten Bereich ( $0,660 \leq \kappa_{Cohen} \leq 0,820$ ). Damit können alle Merkmale in die Analysen aufgenommen werden. In den Bearbeitungsprozessen lassen sich insgesamt zwölf unterschiedliche, themenübergreifende Schwierigkeiten erfassen: Schwierigkeiten in Bezug auf die Zielsetzung der Aufgabenstellung, Schwierigkeiten beim experimentellen Arbeiten, Unsystematische Untersuchungen, Untersuchung nicht zielführender Zusammenhänge, Schwierigkeiten beim Umgang mit dem Experimentiermaterial, ungünstige Versuchsbedingungen, inhaltliche und verständnisbezogene Fehler, fehlerhafter Umgang mit dem Experimentiermaterial, Fehler beim Schlussfolgern, Fehler bei der Untersuchung aufgabenbezogener Zusammenhänge, fehlerhafte Lösung der Aufgabe sowie unvollständige Lösung zur Aufgabe.

Die Kodierung auftretender Schwierigkeiten und Fehler erfolgte turnbasiert, sodass für die einzelnen Schwierigkeiten über die gesamte Bearbeitungszeit hinweg das Auftreten dichotom skaliert vorliegt. Um den Einfluss individueller Lernvoraussetzungen auf das Auftreten von Schwierigkeiten und Fehlern kausal zu überprüfen, wurden für die einzelnen Schwierigkeiten und Fehler binär logistische Regressionen gerechnet. Die Analysen zeigen, dass prozessbezogenes Vorwissen zum Experimentieren und kognitive Grundfähigkeiten als endogene Bedingungsfaktoren für sechs der zwölf Schwierigkeiten diskutiert werden können. Insbesondere hohe Ausprägungen im prozessbezogenen Wissen zum Experimentieren wirken sich darauf aus, dass Schwierigkeiten in Bezug auf die Aufgabenstellung ( $\chi^2=18,451$ ;  $p<0,001$ ;  $R^2=0,257$ ;  $OR=0,388$ ), Fehler bei der Untersuchung aufgabenbezogener Zusammenhänge ( $\chi^2=11,400$ ;  $p=0,001$ ;  $R^2=0,234$ ;  $OR=0,478$ ), unsystematische Untersuchungen ( $\chi^2=9,505$ ;  $p=0,002$ ;  $R^2=0,120$ ;  $OR=0,617$ ), sowie eine unvollständige Lösung der Aufgabe ( $\chi^2=31,654$ ;  $p<0,001$ ;  $R^2=0,427$ ;  $OR=0,277$ ) seltener auftreten. Eine fehlerhafte Lösung der Aufgabe ( $\chi^2=4,855$ ;  $p=0,028$ ;  $R^2=0,067$ ;  $OR=1,446$ ) ist hingegen häufiger bei Lernenden mit hohen Ausprägungen im prozessbezogenen Vorwissen zu beobachten. Geringe kognitive Grundfähigkeiten können als Risikofaktor für Fehler beim Schlussfolgern ( $\chi^2=8,042$ ;  $p=0,018$ ;  $R^2=0,102$ ;  $OR=0,698$ ) gesehen werden. Das konzeptbezogene Vorwissen zeigt für keine der beobachtbaren Schwierigkeiten und Fehler einen statistisch bedeutsamen Einfluss. Für die anderen Schwierigkeiten und Fehler können keine direkten Effekte individueller Lernvoraussetzungen als Bedingungsfaktoren gefunden werden.

In einem nächsten Schritt wurden daher die Abhängigkeiten zwischen den Schwierigkeiten und Fehlern mit Hilfe binär logistischer Regressionen analysiert. Dazu wurde das Auftreten jeder einzelnen Schwierigkeit nacheinander als abhängige Variable und den anderen Schwierigkeiten als Regressoren untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass komplexe Zusammenhänge zwischen dem Auftreten der Schwierigkeiten und Fehler bestehen. Neben direkt kausalen Beziehungen zeigen sich auch wechselseitige Interdependenzen. Einzelne Schwierigkeiten treten hierbei sowohl verstärkend als reduzierend auch auf das Auftreten von Schwierigkeiten in Erscheinung.

### **Diskussion**

Einige Schwierigkeiten und Fehler lassen sich auf unzureichende Ausprägungen in den individuellen Lernvoraussetzungen zurückführen. Dabei kommt vor allem dem prozessbezogenen Vorwissen zum Experimentieren Bedeutung zu, dessen Bedeutung für erfolgreiches Lernen beim Experimentieren bereits mehrfach belegt ist. Die Analysen legen aber auch nahe, dass ein ebenso großer Teil an Ursachen außerhalb der direkten individuellen Ressourcen von Schülerinnen und Schülern liegt. Dies belegen die komplexen Wirkungszusammenhänge zwischen den Schwierigkeiten und Fehlern. Einschränkend muss an dieser Stelle die Beschränkung auf ein einzelnes Lernjahr sowie ein spezifisches Experimentierformat berücksichtigt werden. Darüber hinaus liegt der Zielsetzung der Untersuchung stärker ein explorativer Zugang zugrunde, sodass die Intensität der Wirkungszusammenhänge nicht hinreichend genau interpretiert werden können. Darüber hinaus bleiben Aspekte des kooperativen Arbeitens und damit möglicher weiterer Bedingungsfaktoren weitestgehend unberücksichtigt.

## Literatur

- Arnold, K.-H., & Richert, P. (2008). Unterricht und Förderung: Die Perspektive der Didaktik. In K.-H. Arnold, O. Graumann, & A. Rakhkochkine, *Pädagogik. Handbuch Förderung. Grundlagen, Bereiche und Methoden der individuellen Förderung von Schülern* (S. 26–35). Weinheim: Beltz.
- Baur, A. (2018). Fehler, Fehlkonzepte und spezifische Vorgehensweisen von SchülerInnen und Schülern beim Experimentieren: Ergebnisse einer videogestützten Beobachtung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, S. 115-129.
- Boone, W. J., Staver, J. R., & Yale, M. S. (2014). *Rasch analysis in the human sciences*. Dordrecht [u.a.]: Springer.
- Celik, K. & Walpuski, M. (2020). Ein chemisches Fachwissensnetz – Analyse von möglichen Lernwegen. In: S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Wien 2019*. (S. 536). Universität Duisburg-Essen.
- Gold, A. (2018). *Lernschwierigkeiten. Ursachen, Diagnostik, Intervention*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Heimlich, U. (2016). *Pädagogik bei Lernschwierigkeiten*. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.
- Heller, K., & Perleth, C. (2000). *Kognitiver Fähigkeitstest für 4. bis 12. Klassen, Revision : KFT 4-12+R*. Göttingen: Beltz.
- Kalisch, M. & Meier, L. (2021). *Logistische Regression. Eine anwendungsorientierte Einführung in R*. Wiesbaden: Springer essentials.
- Kallweit, I., & Melle, I. (2016). Selbsteinschätzungsbögen als Instrument zur individuellen Förderung im Chemieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, S. 143–163.
- Kechel, J.-H. (2016). *Schülerschwierigkeiten beim eigenständigen Experimentieren. Eine qualitative Studie am Beispiel einer Experimentieraufgabe zum Hooke'schen Gesetz*. Berlin: Logos-Verlag.
- Kirstein, D. & Walpuski, M. (2020). Individuelles Lernen mit kooperativen Experimentieraufgaben im Chemieunterricht. In: S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Kompetenzen in der Gesellschaft von morgen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Wien 2019*. (S. 82). Universität Duisburg-Essen
- Knobloch, R. (2011). *Analyse der fachinhaltlichen Qualität von Schüleräußerungen und deren Einfluss auf den Lernerfolg. Eine Videostudie zu kooperativer Kleingruppenarbeit*. Berlin: Logos-Verlag.
- Koenen, J. (2014). *Entwicklung und Evaluation von experimentunterstützten Lösungsbeispielen zur Förderung naturwissenschaftlich-experimenteller Arbeitsweisen*. Berlin: Logos Verlag.
- Kolen, M., & Brennan, R. (2014). *Test Equating, Scaling, and Linking: Methods and Practices*. New York: Springer.
- Lederman, N. G., Lederman, J. S., & Antink, A. (2013). Nature of science and scientific inquiry as contexts for the learning of science and achievement of scientific literacy. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, S. 138-147.
- Leitner, W., Ortner, R., & Ortner, A. (2008). *Handbuch Verhaltens- und Lernschwierigkeiten*. Weinheim und Basel: Beltz.
- Mannel, S. (2011). *Assessing scientific inquiry. Development and evaluation of a test for the low-performing stage*. Berlin: Logos-Verlag.
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. Weinheim und Basel: Beltz.
- Oser, F., & Psychiger, M. (2005). *Lernen ist schmerzhaft. Zur Theorie des Negativen Wissens und zur Praxis der Fehlerkultur*. Weinheim: Beltz.
- Stender, A., Schwichow, M., Zimmermann, C., & Härtig, H. (2018). Making inquiry-based science learning visible: the influence of CVS and cognitive skills on content knowledge learning in guided inquiry. *International Journal of Science Education*, S. 1812-1831.
- Sumfleth, E. (2015). Diagnose und Förderung im Chemieunterricht. In M. Emden, J. Koenen, & E. Sumfleth (Hrsg.), *Chemieunterricht im Zeichen von Diagnostik und Förderung*. Münster: Waxmann. S. 7-8.
- Wahser, I. (2007). *Training von naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen zur Unterstützung experimenteller Kleingruppenarbeit im Fach Chemie*. Berlin: Logos-Verlag.
- Walpuski, M. (2006). *Optimierung von experimenteller Kleingruppenarbeit durch Strukturierungshilfen und Feedback*. Berlin: Logos-Verlag.
- Wirth, J., Thilmann, H., Küsting, J., Fischer, H. E., & Leutner, D. (2008). Das Schülerexperiment im naturwissenschaftlichen Unterricht. Bedingungen der Lernförderlichkeit einer verbreiteten Lehrmethode aus instruktionspsychologischer Sicht. *Zeitschrift für Pädagogik*, S. 361-375.