

Marco Reith<sup>1</sup>  
Andreas Nehring<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Leibniz Universität Hannover

## Modellierung und Förderung experimenteller Kompetenzen als Trias aus Dispositionen, Prozessen und Produkten

### Einleitung

Experimentelle Kompetenzen lassen sich als Befähigung zum Lösen experimenteller Probleme konzeptualisieren, d. h. sie befähigen zum Beantworten einer Forschungsfrage mittels einer experimentellen naturwissenschaftlichen Untersuchung (Mayer, 2007). Dabei stellen Kompetenzen Dispositionen dar, die zu einem erfolgreichen Handeln („Performanz“) in einer Problemsituation befähigen (Weinert, 2001).

Bezüglich des Assessments haben sich Paper-and-Pencil-Tests (z. B. Vorholzer, 2016), Simulationen (z. B. Schreiber et al., 2014) und Realexperimente (z. B. Hild et al., 2020) als oft verfolgte Ansätze herauskristallisiert. Diese Ansätze werden teilweise durch tiefergehende Analysen begleitet, häufig erfolgt aber eine Fokussierung auf die Performanz bzw. das Produkt einer Performanz, von denen aus auf vorliegende Kompetenzausprägungen gefolgert wird. Bisher wurde wenig differenziert untersucht, worauf beobachtbare Unterschiede in der Qualität dieser Produkte beruhen (Krell et al., 2022).

In anderen Forschungsfeldern, wie den professionellen Kompetenzen von Lehrkräften, gibt es bereits Ansätze, Kompetenzen differenzierter aufzuschlüsseln (z. B. Blömeke et al., 2015). In Erweiterung derartiger Ansätze wurde das Modell der Kompetenztrias entwickelt, das experimentelle Kompetenzen als Trias aus Dispositionen, Prozessen und Produkte konzeptualisiert (s. Abb. 1). Die Dispositionsfacette experimenteller Kompetenzen beinhaltet das fachmethodische Wissen, das Fachwissen und das labortechnische Wissen. Dabei wird davon ausgegangen, dass das Vorliegen dieser Wissenskomponenten eine notwendige, aber nicht hinreichende Voraussetzung dafür ist, eine Performanz zu zeigen, die zu einer tragfähigen Problemlösung (Produkt) führt. Vielmehr müssen die Wissenskomponenten durch situationsspezifische Prozesse aktiviert und miteinander verknüpft werden. Kompetent ist nach dem Modell der Kompetenztrias folglich, wer über günstige Dispositionsausprägungen verfügt (Dispositionsfacette), diese in spezifischen Situationen zielführend nutzt (Prozessfacette) und so qualitativ hochwertige Problemlösungen (Produktfacette) entwickelt (Reith & Nehring, 2021).

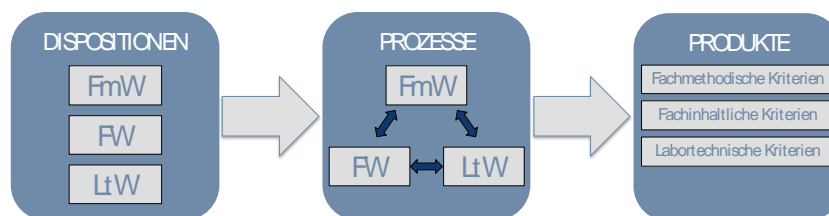


Abb. 1: Modell der Trias experimenteller Kompetenzen. FmW = Fachmethodisches Wissen, FW = Fachwissen, LtW = Labortechnisches Wissen

Das Modell der Kompetenztrias bietet nicht nur das Potential, Kompetenzausprägungen, sondern auch Veränderungen in den Kompetenzausprägungen differenziert abzubilden. Basierend auf diesem Modell ließen sich Verbesserungspotentiale bei Lernenden differenziert nach Kompetenzfacetten und Wissenskomponenten identifizieren, Wirkungen unterschiedlicher Interventionen auf die einzelnen Facetten und Komponenten untersuchen und darauf aufbauend maßgeschneiderte Interventionen entwickeln, die spezifisch die identifizierten Verbesserungspotentiale adressieren.

### **Forschungsfrage**

Vor diesem Hintergrund soll zunächst exemplarisch für eine Lernsequenz untersucht werden, inwiefern sie mit differentiellen Zuwächsen in Bezug auf die Kompetenzfacetten und Wissenskomponenten einhergeht:

FF1: Welche Ergebnisse zeigt eine differentielle Evaluation einer Lernsequenz zur Förderung experimenteller Kompetenzen entsprechend der Kompetenztrias?

### **Methodik**

Zur Beantwortung der Forschungsfrage wurde eine Studie im Pre-Post-Design mit Studierenden der Chemie und verwandter Studiengänge in der Studieneingangsphase durchgeführt (Reith & Nehring, 2022a).

Für die Messung der Dispositionskomponenten zum Pre- und Post-Zeitpunkt wurden Paper-and-Pencil-Tests im Multiple-Choice-Format eingesetzt. Bei den eingesetzten Instrumenten handelt es sich um eine Adaption des „Methodenwissens-Tests“ (Arnold, 2015) für das fachmethodische Wissen, eine Adaption des „Lab Skills-Tests“ (Elert, 2019) für das labortechnische Wissen sowie ein selbst entwickeltes Testinstrument für das Fachwissen. Die Daten wurden einer IRT-Modellierung unterzogen und die erhaltenen Personenfähigkeiten für eine leichtere Interpretierbarkeit auf eine Skala ( $M = 500$ ,  $SD = 100$ ) transformiert, die auch in Bildungsmonitoring-Studien genutzt wird (z. B. PISA, IQB-Ländervergleich).

Zur Erfassung der Prozessfacette führten die Studierenden ein Experiment im *guided inquiry*-Format (Bell et al., 2005) durch: Sie erhielten die Aufgabe, eine gegebene Forschungsfrage mithilfe einer naturwissenschaftlichen Untersuchung zu beantworten. Nach Abschluss jeder Phase der experimentellen Erkenntnisgewinnung (Hypothese, Planung, etc.) wurden die Studierenden in einem vorstrukturierten Protokoll dazu aufgefordert, eine Audioaufnahme zu erstellen, in der sie darlegen, wie sie zu der jeweiligen Hypothese, Planung etc. gekommen sind. Dieses retrospektive laute Denken ermöglicht Rückschlüsse darauf, auf welche Weise Studierende für die Problemlösung auf welche Wissenskomponenten zurückgegriffen haben. Die Transkripte werden manualbasiert in Anlehnung an die evaluative qualitative Inhaltsanalyse (Kuckartz, 2016) kodiert.

Die Produktfacette wurde durch die Protokolle, die im Rahmen der von den Studierenden durchgeführten naturwissenschaftlichen Untersuchungen angefertigt wurden, erhoben. Zur Analyse der in den Protokollen festgehaltenen Problemlösungen (Produkte) wurde basierend auf Literatur zu vergleichbaren Ansätzen in der Naturwissenschaftsdidaktik und in Anlehnung an die evaluative qualitative Inhaltsanalyse (Kuckartz, 2016) ein Kodiermanual entwickelt, das bereits an anderer Stelle veröffentlicht wurde (Reith & Nehring, 2022b). Eine Doppelkodierung von etwa 20 % des Materials ergab eine substanzielle Interrater-

Übereinstimmung ergab ( $\kappa = 0,77$ ; Cohen, 1960; Landis & Koch, 1977). Die auf der Kodierung basierenden Scores entsprechen dem prozentualen Anteil an erfüllten Kriterien.

In der Studie gab es mehrere Interventionsgruppen, wobei wir uns im Folgenden auf die Interventionsgruppe mit dem eher nahen Transfer ( $n = 46$ ) und deren Lernsequenz beziehen (Reith & Nehring, 2022a). Die Lernsequenz fokussiert auf die Förderung experimenteller Kompetenzen und dabei insbesondere auf fachmethodische Aspekte. Für weitere Details zur Entwicklung und konkreten Ausgestaltung der Lernsequenz wird an dieser Stelle auf Reith & Nehring (2022b) verwiesen.

### Erste Ergebnisse und Ausblick

Die Pre-Post-Vergleiche zur Untersuchung von Kompetenzzuwächsen im Zuge der Lernsequenz ergaben für die Dispositionsfacette signifikante Zuwächse mit kleinen bis mittleren Effektstärken für das fachmethodische Wissen und das labortechnische Wissen, nicht jedoch für das Fachwissen. Auf der Produktfacette konnten signifikante Zuwächse mit großer Effektstärke beobachtet werden:

Konstrukt		n	Pre <i>M (SD)</i>	Post <i>M (SD)</i>	Ergebnisse der einseitigen <i>t</i> -Tests
Dispositionen	Fachmethodisches Wissen	46	475 (85)	525 (108)	$t(45) = -4,1917; p < 0,001;$ $d = 0,62$
	Labortechnisches Wissen	44	482 (109)	517 (89)	$t(43) = -2,7738; p = 0,004;$ $d = 0,42$
	Fachwissen	46	494 (101)	506 (99)	$t(45) = -1,0374; p = 0,15;$ $d = 0,15$
Produkte		46	60 (13) % der Kriterien erfüllt	77 (12) % der Kriterien erfüllt	$t(45) = -8,7425; p < 0,001;$ $d = 1,29$

Die Ergebnisse sind insofern erwartungskonform, als die eingesetzte Lernsequenz explizit auf fachmethodische Aspekte fokussiert. Hier deutet sich schon an, dass das differenzierte Assessment in Anlehnung an das Modell der Kompetenztrias durch die Aufschlüsselung in die einzelnen Kompetenzfacetten und Wissenskomponenten Informationen liefert, die bei einer globalen Betrachtung der Produktfacette nicht zugänglich sind.

Im vorliegenden Projekt soll zunächst die Analyse der Prozessfacette sowie die Skalenbildung für eine in Wissenskomponenten differenzierte Betrachtung der Produktfacette abgeschlossen werden. Perspektivisch ließen sich mit dem vorgestellten Ansatz die Wirkungen unterschiedlicher Interventionen auf die einzelnen Kompetenzfacetten, die Wissenskomponenten sowie deren Zusammenspiel untersuchen.

### Literatur

- Arnold, J. (2015). *Die Wirksamkeit von Lernunterstützungen beim Forschenden Lernen: Eine Interventionsstudie zur Förderung des Wissenschaftlichen Denkens in der gymnasialen Oberstufe* (Vol. 10). Logos Verlag.
- Bell, R. L., Smetana, L., & Binns, I. (2005). Simplifying Inquiry Instruction. *The Science Teacher*, 72(7), 30–33.
- Blömeke, S., Gustafsson, J.-E., & Shavelson, R. J. (2015). Beyond Dichotomies. *Zeitschrift Für Psychologie*, 223(1), 3–13. <https://doi.org/10.1027/2151-2604/a000194>
- Cohen, J. (1960). A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 37–46. <https://doi.org/10.1177/001316446002000104>
- Elert, T. (2019). *Course Success in the Undergraduate General Chemistry Lab* (Vol. 284). Logos Verlag.
- Hild, P., Buff, A., Gut, C., & Parchmann, I. (2020). Adaptive kompetenzbezogenes Feedback beim selbstständigen praktisch-naturwissenschaftlichen Arbeiten. *Zeitschrift Für Didaktik Der Naturwissenschaften*. <https://doi.org/10.1007/s40573-020-00109-8>
- Krell, M., Vorholzer, A., & Nehring, A. (2022). Scientific Reasoning in Science Education: From Global Measures to Fine-Grained Descriptions of Students' Competencies. *Education Sciences*, 12(2), 97. <https://doi.org/10.3390/educsci12020097>
- Kuckartz, U. (2016). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (3rd ed.). Beltz Juventa.
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 33(1), 159–174.
- Mayer, J. (2007). Erkenntnisgewinnung als wissenschaftliches Problemlösen. In D. Krüger & H. Vogt (Eds.), *Theorien in der biomedizinischen Forschung* (pp. 177–186). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-540-68166-3\\_16](https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-540-68166-3_16)
- Reith, M., & Nehring, A. (2021). Experimentelle Kompetenz zwischen Disposition, Prozess und Produkt. In S. Habig (Ed.), *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch?* (pp. 537–540). Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDChP).
- Reith, M., & Nehring, A. (2022a). Einfluss der Transferdistanz auf die Entwicklung experimenteller Kompetenzen. In S. Habig & H. van Vorst (Eds.), *Unsicherheit als Element von naturwissenschaftsbezogenen Bildungsprozessen* (pp. 636–639). Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik (GDChP).
- Reith, M., & Nehring, A. (2022b). Fostering Scientific Reasoning Competencies in Undergraduate Laboratories Using “Classical” Kinetics Experiments. *Journal of Chemical Education*. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00340>
- Schreiber, N., Theyßen, H., & Schecker, H. (2014). Diagnostik experimenteller Kompetenz: Kann man Realexperimente durch Simulationen ersetzen? *Zeitschrift Für Didaktik Der Naturwissenschaften*, 20(1), 161–173. <https://doi.org/10.1007/s40573-014-0017-1>
- Vorholzer, A. (2016). *Wie lassen sich Kompetenzen des experimentellen Denkens und Arbeitens fördern? Eine empirische Untersuchung der Wirkung eines expliziten und eines impliziten Instruktionsansatzes* (Vol. 197). Logos Verlag.
- Weinert, F. E. (2001). Vergleichende Leistungsmessung in Schulen: Eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In F. E. Weinert (Ed.), *Leistungsmessungen in Schulen* (pp. 17–32). Weinheim: Beltz.