

Sabrina Stündl
Victoria Telser
Arno Pfitzner
Oliver Tepner

Universität Regensburg

Fehleranalyse beim Experimentieren — eine Pilotstudie mit Lehrkräften

Theoretischer Hintergrund

Durch das Begehen von Fehlern wird negatives Wissen aufgebaut, weshalb Fehler zum Lernen dazugehören (Mathan & Koedinger, 2005; Oser & Spychiger, 2000). Negatives Wissen ist „das Wissen um das, wie etwas nicht ist (deklarativ) oder nicht funktioniert (prozedural)“ (Oser, Spychiger, Mahler & Reber, 1999, S. 17). Negatives Wissen ist demnach ein wichtiger Baustein bei Problemlöseprozessen, Routinebildung und beim Konzeptaufbau (Wahser & Sumfleth, 2008). Fehler besitzen eine vorbeugende Wirkung im Sinne der Vermeidung von Wiederholungsfehlern, wie auch eine produktive Wirkung im Sinne von Lernzuwächsen (Wahser & Sumfleth, 2008). Nicht nur durch das Begehen eigener Fehler kann negatives Wissen aufgebaut werden, sondern auch durch das Erkennen von Fehlern bei anderen Personen oder Situationen (Oser et al., 1999). Werden neue Erkenntnisse mit dem Vorwissen verknüpft, wird neues Wissen generiert (Niedderer, 1996; Wirth & Leutner, 2006) oder träges Wissen aktiviert (Gruber & Renkl, 2000; Gruber et al., 2000). Eine mögliche Ursache für Fehler beim Experimentieren in der Schule könnte eine Diskrepanz zwischen den Schülervorstellungen über die experimentelle Vorgehensweise und dem tatsächlichen naturwissenschaftlichen Arbeiten sein (Hammann, Thi & Ehmer, 2006). Defizite von Schülerinnen und Schülern treten in allen Phasen des Experimentierprozesses auf, insbesondere bei der Bildung von Hypothesen, der Planung von Experimenten und der Auswertung von Daten (Hammann et. al, 2006; Schulz, Prinz & Wirtz, 2012). Typische Beispiele hierfür sind das Nichtaufstellen von Hypothesen oder das Nichtanwenden von Variablenkontrollstrategien (Hammann et. al, 2006; Schulz, Prinz & Wirtz, 2012).

Pilotstudie

Die experimentelle Kompetenz von Chemielehrkräften ist bislang kaum empirisch erforscht, weshalb eine Studie zu ihrer Erfassung an der Universität Regensburg entwickelt wurde. Im Rahmen der zweitägigen Chemielehrkräftefortbildung „Elektro- und Photochemie für den Unterricht“ soll die experimentelle Kompetenz von Gymnasiallehrkräften erfasst werden (Details siehe Enzmann, Pfitzner & Tepner, 2017). Die Pilotierung dieser erfolgte mit zwei Gruppen à zwei Chemielehrkräften des Gymnasiums, die in Partnerarbeit zwei lehrplankonforme Experimente zum Thema galvanische Zellen bearbeiteten. Diese Versuche waren so konzipiert, dass sie neben Aufbau, Durchführung und Dokumentation mindestens eine Variablenmanipulation beinhalteten. Die Experimente waren im Prä-Post-Design durchzuführen und wurden videographiert. Mit einem eigens dafür entwickelten Kodiermanual wurden diese Aufzeichnungen auf Vorkommen von Experimentierphasen, auf Begehen von Fehlern beim Experimentieren und auf Einhaltung von Erkenntnisgewinnungsphasen untersucht (Telser, Stündl, Pfitzner, Tepner, unveröffentlicht). Im Folgenden werden die Grundzüge der Fehlerkodierung und eine deskriptive Darstellung der Pilotergebnisse mit Fokus auf die Fehleranalyse präsentiert.

Grundzüge der Fehlerkodierung

Die Fehlerkodierung wird auf alle praktischen Handlungen beim Experimentieren im Video und auf fachliche und fachsprachliche Formulierungen in Audio und Protokoll angewendet. Daraus ergibt sich eine Differenzierung der aufgetretenen Fehler in ein umfangreiches Ober-

und Unterkategoriensystem (Telser et al., unveröffentlicht). Ein kleiner Ausschnitt dieses Kategoriensystems mit Beispielen ist in Tabelle 1 gezeigt. Verändert eine Lehrkraft gleichzeitig die Temperatur und die Konzentration bei einem Versuch, kann dies als Variablenkontrollfehler gewertet und wird der Oberkategorie 5 (Unsauberes Arbeiten mit Fachwissensdefizit) zugeordnet. Variablenkontrollfehler werden in der Unterkategorie 8 zusammengefasst, woraus sich folgende Kategorisierung für den Fehler ergibt: Fehlercode: 508, Fehlertyp: 8. Die Notizen dienen der genauen Fehlerbeschreibung und zur zeitlichen Einordnung.

Tabelle 1: Beschreibung des Kategoriensystems der Fehler

Fehlercode (Oberkategorie)	Fehlertyp (Unterkategorie)	Notizen (Zeit: Fehlerbeschreibung)
3: Unsauberes Arbeiten	Z. B.: Instabilität des Aufbaus, Polung, Sicherheit, unsauberes Experimentieren	620: Wiederverwenden kontaminierter Pipetten Fehlercode: 310, Fehlertyp: 10
41: Fachwissensdefizit	Fachlich fehlerhafte Aussagen	520: Fehler im Zusammenhang Anode/ Kathode und Oxidation/ Reduktion Fehlercode: 411, Fehlertyp: 108
44: Fachsprache	Falsche/ Unsaubere Verwendung von Fachsprache	420: Fehler bezüglich der Zuordnung Salzsäure-HCl Fehlercode: 441, Fehlertyp: 205
5: Unsauberes Arbeiten mit Fachwissensdefizit	Kurzschluss, Variablenkontrolle	320: Variablenkontrolle: Gleichzeitige Veränderung von Temperatur und Konzentration Fehlercode: 508, Fehlertyp: 8

Es wird allgemein zwischen Ursprungsfehler und Wiederholungsfehler unterschieden. Ursprungsfehler sind Fehler, die das erste Mal auftreten (Telser et al., unveröffentlicht).

Fragestellung und Hypothese

Experimentieren die Lehrkräfte am zweiten Messzeitpunkt (MZIP2) mit weniger Fehlern als am ersten Messzeitpunkt (MZIP1)? Die fachlichen und praktischen Erkenntnisse aus dem ersten Tag der Fortbildung (MZIP1) können von den Teilnehmenden selbst reflektiert worden sein, was dazu führen könnte, dass diese Erkenntnisse mit dem Vorwissen verknüpft worden sind. Daraus leitet sich die folgende Hypothese ab: Die Lehrkräfte experimentieren am zweiten Messzeitpunkt (MZIP2) mit weniger Fehlern als am ersten Messzeitpunkt (MZIP1). Um diese Hypothese beurteilen zu können, wurden u. a. folgende Kriterien herangezogen:

- Die Lehrkräfte experimentieren mit weniger Gesamtfehlern.
- Die Lehrkräfte experimentieren mit weniger Ursprungsfehlern.

Deskriptive Ergebnisse der Pilotierung

Die Anzahl der Gesamtfehler (Ursprungsfehler und Wiederholungsfehler) nimmt im Prä-Post Vergleich bei drei von vier Lehrkräften zu (Abbildung 1). Dies korrespondiert mit der Tatsache, dass an MZIP2 mehr Experimente von den Lehrkräften geschafft worden sind als an MZIP1. Differenziert man die Gesamtfehler in die vier vorgestellten Kategorien, erhält man weitere Rückschlüsse auf mögliche Ursachen für den Befund: Die Gesamtfehleranzahl in Kategorie 3 (Unsauberes Arbeiten) steigt bei allen Personen zwischen den Messzeitpunkten an, wohingegen die Gesamtfehleranzahl der Kategorien 41 (Fachwissensdefizit) und 44 (Fachsprache) bei drei von vier Teilnehmenden sinkt. Die Gesamtfehleranzahl der Kategorie 5 (Unsauberes Arbeiten mit Fachwissensdefizit) sinkt bei

allen Lehrkräften (Abbildung 1). Die grau hinterlegten Felder in Abbildung 1 und Abbildung 2 verdeutlichen eine Abnahme der Fehleranzahl. Die Umrandung zeigt das zusammengehörige Fehlerpärchen von MZP1 und MZP2.

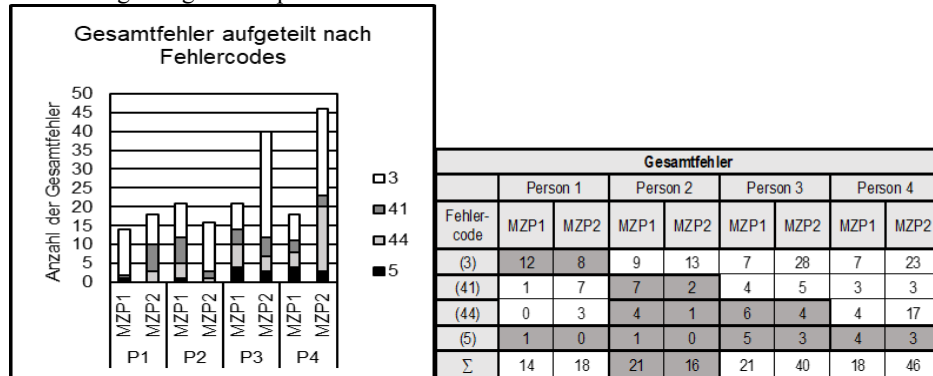


Abbildung 1: Anzahl der Gesamtfehler

Die Anzahl der Ursprungsfehler insgesamt sinkt bei drei von vier Lehrkräften von MZP1 zu MZP2 (Abbildung 2). Die Anzahl der Ursprungsfehler in Kategorie 3 (Unsauberes Arbeiten) steigt bei drei von vier Lehrkräften an. Die Anzahl der Ursprungsfehler der Kategorie 44 (Fachsprache) und der Kategorie 41 (Fachwissensdefizit) nimmt bei drei der vier Lehrkräfte ab, auch die Anzahl der Ursprungsfehler der Kategorie 5 (Unsauberes Arbeiten mit Fachwissensdefizit) sinkt bei der Hälfte der Lehrkräfte. Die Anzahl der Wiederholungsfehler steigt bei drei von vier Lehrpersonen an. Die steigende Anzahl der Gesamtfehler resultiert aus einem Anstieg der Wiederholungsfehler bei einer sinkenden Anzahl an Ursprungsfehlern.

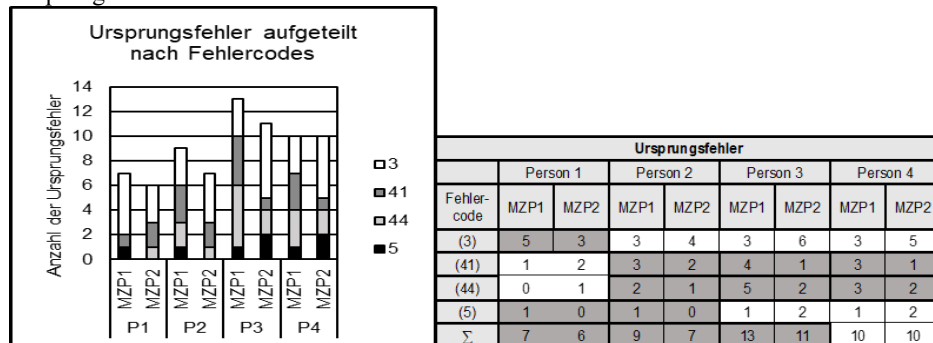


Abbildung 2: Anzahl der Ursprungsfehler

Unter Berücksichtigung der im Vergleich zu MZP1 höheren Anzahl an durchgeführten Manipulationsexperimenten an MZP2 konnte für die Pilotierung nicht gezeigt werden, dass die Gesamtfehleranzahl pro durchgeführtem Manipulationsexperiment abnimmt. Dies ist möglicherweise auf eine häufigere Wiederholung der Ursprungsfehler zurückzuführen.

Ausblick

Nach derzeitigem Stand kann das Manual zur Fehlerkodierung die auftretenden Fehler beim Experimentieren bzw. Unterschiede im Prä- und Posttest erfassen. Nach der Pilotierung wurde es in vielen Bereichen konkretisiert und wird seit Frühjahr 2018 in der Hauptstudie eingesetzt. Die Gesamtanalyse der Hauptstudie wird in der Dissertation von Telser (2019) vorgestellt.

Literatur

- Enzmann, V., Pfitzner, A. & Tepner, O. (2017). Förderung experimenteller Kompetenz von Lehrkräften im Fach Chemie. In: C. Maurer (Hrsg.), *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Zürich 2016*. (S. 760). Universität Regensburg.
- Gruber, H. & Renkl, A. (2000). Die Kluft zwischen Wissen und Handeln: Das Problem des trägen Wissens. In: G. H. Neuweg (Hrsg.), *Wissen - Können - Reflexion. Ausgewählte Bestimmungen* (S. 155-174). Innsbruck: StudienVerlag.
- Gruber, H.; Mandl, H. & Renkl, A. (2000). Was lernen wir in Schule und Hochschule: Träges Wissen? In: H. Mandl & J. Gerstenmaier (Hrsg.), *Die Kluft zwischen Wissen und Handeln. Empirische und theoretische Lösungsansätze* (S. 139-156). Göttingen: Hogrefe.
- Hammann, M., Thi, T. H. P. & Ehmer, M. (2006). Fehlerfrei Experimentieren. *MNU*, 59(5), S. 292-299.
- Mathan, S.A. & Koedinger, K.R. (2005). Fostering the Intelligent Novice: Learning From Errors With Metacognitive Tutoring. *Educational Psychologist*, 40, S. 257-265.
- Niedderer, H. (1996). Überblick über Lernprozeßstudien in Physik. In R. Duit & C. von Rhöneck (Hrsg.), *Lernen in den Naturwissenschaften* (S. 119-144). Kiel: Leibnitz Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Universität Kiel (IPN).
- Oser, F. & Spychiger, M. (2000). Lernen aus Fehlern als Beitrag zum Lebenslangen Lernen. In: F. Achtenhagen & W. Lempert (Hrsg.), *Lebenslanges Lernen im Beruf Seine Grundlegung im Kindes- und Jugendalter (IV). Formen und Inhalte von Lernprozessen* (S. 101- 122). Opladen: Leske + Budrich.
- Oser, F., Spychiger, M., Mahler, F. & Reber, S. (1999). 3. *Wissenschaftlicher Zwischenbericht des Forschungsprojekts „Lernen Menschen aus Fehlern? Zur Entwicklung einer Fehlerkultur in der Schule*. Universität Freiburg, Schweiz: Lehrstuhl für Pädagogik und pädagogische Psychologie.
- Schulz, A., Prinz, E. & Wirtz, M. (2012). Schüler planen Experimente und testen Hypothesen – Diagnose von Experimentierkompetenzen und mehrbenenanalytischer Klassenstufen- und Schulartvergleich – Teilprojekt 11. In: W. Riess, M. Wirtz, B. Barzel & A. Schulz (Hrsg.): *Experimentieren im mathematisch- naturwissenschaftlichen Unterricht. Schüler lernen wissenschaftlich denken und arbeiten*, Münster: Waxmann, S. 333-352.
- Telser, V. (Unveröffentlicht). Experimentelle Kompetenz von Lehrkräften. Entwicklung und Evaluation einer Lehrerfortbildung mit dem Titel „Elektro- und Photochemie für den Unterricht“. Dissertation. Universität Regensburg. Regensburg.
- Telser, V., Stündl, S., Pfitzner, A. & Tepner, O. (Unveröffentlicht). *Kodiermanual zur Analyse der videographierten Lehrkräftefortbildung „Elektro- und Photochemie für den Unterricht“*. Experimentierphasen zum Thema *Galvanische Zellen*. Universität Regensburg.
- Wahser, I. & Sumfleth, E. (2008). Training experimenteller Arbeitsweisen zur Unterstützung kooperativer Kleingruppenarbeit im Fach Chemie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 14, S. 219- 241.
- Wirth, J. & Leutner, D. (2006). Selbstregulation beim Lernen in interaktiven Lernumgebungen. In H. Mandel & H.F. Friedrich (Hrsg.), *Handbuch Lernstrategien* (S. 172-184). Göttingen: Hogrefe.