

Rahel Schmid¹
Nicolas Robin¹
Alexander Strahl²

¹Pädagogische Hochschule St.Gallen
²Universität Salzburg

Verständnis von NOS-Aspekten und Umgang mit Fehlern

Einleitung

Fehler gehören zur wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung und ermöglichen uns ein besseres Verständnis, wie naturwissenschaftliches Wissen entsteht. Die Naturwissenschaftsgeschichte verdeutlicht, dass Fortschritt in den Naturwissenschaften oft durch Fehler vorangetrieben wird. Denn die Identifikation und Korrektur von Fehlern ermöglichen eine kontinuierliche Weiterentwicklung des naturwissenschaftlichen Wissens. In diesem Sinne stellen Fehler nicht nur Herausforderungen dar, sondern bieten gleichzeitig die Chance, aus ihnen zu lernen, indem sie als Gelegenheiten zum Erwerb neuer Erkenntnisse genutzt werden. Aus diesen Gründen sollten Fehler als integrale Bestandteile von Nature of Science (NOS) angesehen werden (Schmid, 2023).

Nach Allchin (2004) gehört zu einem umfassenden und adäquaten Verständnis von NOS auch zu verstehen, wie sich Naturwissenschaftler:innen irren können und wie sie Fehler finden und verbessern. Mit diesem Verständnis kann sowohl die Zuverlässigkeit als auch die Tragweite von wissenschaftlichen Behauptungen beurteilt werden. Auf dieser Grundlage macht Allchin (2012) einen Vorschlag, wie NOS anhand von Fehlern im Unterricht vermittelt werden kann. Trotz der Annahme, dass Fehler zur naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung gehören und den theoretischen Anstößen von Allchin (2000, 2004, 2011, 2012), Fehler als integrale Bestandteile von NOS zu betrachten, wird den Fehlern in diesem Bereich noch immer zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Diese Studie liefert erste empirische Ergebnisse zum Zusammenhang des Verständnisses von NOS-Aspekten und dem Umgang mit Fehlern im Kontext des MINT-Unterrichts. Es wurde u.a. untersucht, inwiefern das Verständnis der Schüler:innen von NOS-Aspekten deren Umgang mit Fehlern beeinflusst.

Umgang mit Fehlern

Im speziellen Kontext von digital-basierten Lernprozessen können optimale Voraussetzungen geschaffen werden, um eine positive Fehlerkultur zu etablieren, in der Fehler als Gelegenheit zum Lernen und als integraler Bestandteil des Erkenntnisgewinnungsprozesses betrachtet werden können. Zu digital-basierten Lernprozessen gehören beispielsweise Lernumgebungen zum Programmieren. Beim Programmieren unterlaufen den Schüler:innen zwangsläufig zahlreiche Fehler. Diese resultieren zum einen daraus, dass die Schüler:innen in einer neuen und ihnen meist unbekannteren Sprache kommunizieren müssen. Zum anderen hat das technische Gerät (z. B. der Mikrocontroller micro:bit), mit dem sie kommunizieren, (noch) keine Fähigkeiten zur Interpretation, Reflexion oder Rückfrage. Dies bedeutet, dass die Kommunikation präzise und fehlerfrei sein muss. Selbst kleinste Fehler, wie die Verwendung eines Kommas statt eines Punktes beim textbasierten Programmieren, führen dazu, dass das technische Gerät die Anweisung nicht versteht und demzufolge nicht weiß, was zu tun ist (Schmid, Robin, Smit & Strahl, 2022).

Um den Einstieg ins Programmieren zu erleichtern, wird häufig eine visuelle Programmiersprache verwendet. Durch diese werden typische, jedoch nicht lösungsrelevante Fehlerquellen wie die korrekte Syntax oder effektive Variablenverwaltung zunächst ausgeschlossen. Dies ermöglicht den Schüler:innen, sich auf die Problemlösung zu

konzentrieren (Hielscher & Honegger, 2015; Kelleher & Pausch, 2005). Trotzdem treten auch beim visuellen Programmieren Fehler auf.

Ein Vorteil dieser digital-basierten Lernumgebung liegt darin, dass Fehler und deren Konsequenzen unmittelbar sichtbar werden, ohne dass die Schüler:innen ihre Lösungen mit einer Musterlösung vergleichen müssen. Als Beispiel: Wenn die Schüler:innen eine LED zum Blinken bringen sollen und die LED nicht blinkt, haben sie einen Fehler gemacht. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die Schüler:innen die Trial-and-Error-Methode, also die Methode des Versuchs und Irrtums im Erkenntnisgewinnungsprozess, im Vergleich zum naturwissenschaftlich-technischen Unterricht in der Regel ohne Gefahr anwenden können. Im Biologieunterricht z. B. bei der Arbeit mit lebenden Organismen, in der Chemie z. B. bei der Arbeit mit gefährlichen Substanzen und in der Physik z. B. in der Elektrizitätslehre sollte diese Methode nur mit Bedacht eingesetzt werden. Ein weiterer Vorteil zeigt sich in den Debugging-Methoden. Debugging-Aufgaben im Unterricht präsentieren fehlerhafte Codes, die von den Schülerinnen verbessert werden. Der Vorteil besteht darin, dass die Schüler:innen nicht an ihren eigenen Fehlern arbeiten, sondern an den Fehlern anderer. Dies kann insbesondere für Schüler:innen motivierend sein, die viele Fehler machen, da sie beim Debuggen nicht an ihren eigenen Fehlern arbeiten (DeLiema et al., 2020; Michaeli & Romeike, 2019; Perscheid, Siegmund, Taeumel & Hirschfeld, 2016; Schumacher, 2008).

Forschungsdesign und Methoden

Die oben genannte Forschungsfrage wurde im Rahmen des Dissertationsprojektes in einer Interventionsstudie erhoben (Schmid, 2023). Die Daten wurden mittels Mixed-Methoden in einem Längsschnittdesign mit Prä-, Post- und Follow-Up-Test erhoben. Die Interventionsstudie fand zwischen dem Prä- und Posttest im Tagesworkshop *Kreativität in Natur und Technik – Smarte Textilien* des Schülerlabors *Smartfeld* mit einer Kontroll- und Interventionsgruppe statt. In Workshop erlernten die Schüler:innen das visuelle Programmieren mit Microsoft MakeCode für micro:bit und lösten unterschiedliche naturwissenschaftliche-technische Problemstellungen mit dem Ziel, Programme für eine 16x16 LED Matrix zu entwickeln, welche sich auf dem Smart Shirt befindet. Bei der Intervention ging es darum, einen konstruktiven Umgang mit Fehlern zu fördern. Zu den drei Messzeitpunkten wurden Fragebögen eingesetzt. Zusätzlich wurden kurze Interviews nach dem Follow-Up-Test geführt. Die Stichprobe bestand aus 269 Schüler*innen der Sekundarstufe I (7.-9. Klasse) aus der Deutschschweiz.

In der genannten Interventionsstudie wurden die Prätest-Daten zum Umgang mit Fehlern und dem Verständnis von NOS-Aspekten des Fragebogens ausgewertet. Der Umgang mit Fehlern wurde mit Skalen zur Fehlerlernorientierung und zu affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler erhoben. Die Skala Fehlerlernorientierung wurde von Spychiger, Kuster und Oser (2006) adaptiert und adressiert den kognitiven Bereich des Umgangs mit Fehlern. Die Skala erhebt, ob die Schüler:innen Fehler als Lernchance sehen oder nicht. Ein Beispielim lautet: „Fehler im Unterricht helfen mir, es hinterher besser zu machen.“ (Spychiger et al., 2006, S. 97). Die Skala affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler wurde von Dresel, Schober, Ziegler, Grassinger und Steuer (2013) adaptiert und adressiert den affektiv-motivationalen Bereich des Umgangs mit Fehlern. Ein Beispielim aus dieser Skala lautet: „Wenn ich einen Fehler mache, habe ich danach weniger Spaß an der Aufgabe.“ (Dresel et al., 2013, S. 260) Das Verständnis von NOS-Aspekten wurde als Faktor zweiter Ordnung aus den NOS-Aspekten *Wissen ist vorläufig, aber beständig* (adaptiert von Harrison, Seraphin, Philippoff,

Vallin & Brandon, 2015), *Fehlermachen beim Experimentieren* (adaptiert von Kremer, 2010), und *Kreativität* (adaptiert von Shaakumeni & Csapó, 2019) konstruiert.

Ergebnisse und Diskussion

Die Fehlerlernorientierung und die affektiv-motivationalen Reaktionen der Schüler:innen auf Fehler sowie das Verständnis von NOS-Aspekten waren eher positiv bzw. adäquat mit hohen Standardabweichungen. Die Stichprobe war in Bezug auf das Geschlecht nahezu gleich verteilt, wobei die Anzahl der Schüler etwas höher war als die Anzahl der Schülerinnen. Die Schüler:innen waren durchschnittlich 13.6 Jahre alt (s. Tabelle 1).

Tabelle 1: Übersicht Skalenwerte beim Prätest sowie Alter und Geschlecht

Skala	# Items	Zeitpunkt	N	α	M	SD
Fehlerlernorientierung	5	t ₁	269	.74	4.3	.70
Affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler	6	t ₁	269	.83	3.9	.83
NOS	9	t ₁	269	.79	4.5	.61
Alter	1	t ₁	269	-	13.6	1.04
Geschlecht	1	t ₁	269	-	.45	.50

Anmerkungen: sechsstufige Likert-Skala (1 = stimmt überhaupt nicht, 2 = stimmt größtenteils nicht, 3 = stimmt eher nicht, 4 = stimmt eher, 5 = stimmt größtenteils, 6 = stimmt völlig); Geschlecht: männlich = 0, weiblich = 1; t₁ = Prätest; Cronbachs Alpha (α), Mittelwert (M) und Standardabweichung (SD)

Um die Fragestellung zu beantworten, inwiefern das Verständnis der Schüler:innen von NOS-Aspekten deren Umgang mit Fehlern beeinflusst, wurden Strukturgleichungsmodelle der unabhängigen Variable Verständnis von NOS-Aspekten auf die abhängige Variable Fehlerlernorientierung bzw. affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler gerechnet. Das Strukturgleichungsmodell der unabhängigen Variable Verständnis von NOS-Aspekten auf die abhängige Variable Fehlerlernorientierung zeigte einen starken und signifikanten Effekt ($\beta = 0.60, p < 0.001$). Dies bedeutet, dass Schüler:innen, die in den untersuchten Aspekten von NOS ein adäquates Verständnis haben, Fehler eher als etwas sehen, woraus sie lernen können. Das Ergebnis des Strukturgleichungsmodells der unabhängigen Variable Verständnis von NOS-Aspekten auf die abhängige Variable affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler zeigte einen mittelstarken und signifikanten Effekt vom Verständnis von NOS-Aspekten auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler ($\beta = 0.38, p < 0.001$). Dies bedeutet, dass Schüler:innen, die in den untersuchten Aspekten von NOS ein adäquates Verständnis haben, auch positive affektiv-motivationale Reaktionen auf Fehler berichten. Werden beide abhängigen Variablen in ein Strukturgleichungsmodell genommen, hat das Verständnis der Schüler:innen von NOS-Aspekten noch immer einen starken und signifikanten Effekt auf die Fehlerlernorientierung ($\beta = 0.60, p < 0.001$), jedoch kann kein Effekt mehr vom Verständnis der Schüler:innen von NOS-Aspekten auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler festgestellt werden ($\beta = -0.01, p = 0.95$). Indessen zeigten die Ergebnisse einen mittelstarken indirekten Effekt vom Verständnis von NOS-Aspekten über die Fehlerlernorientierung auf die affektiv-motivationalen Reaktionen auf Fehler ($\beta = 0.39, p < 0.001$). Die Fehlerlernorientierung wurde als Mediator identifiziert.

Diese Befunde legen nahe, dass dem Thema Fehler, sowohl aus allgemeindidaktischer als auch aus fachdidaktischer Sicht, im Kontext von NOS eine größere Bedeutung beigemessen werden sollte, um die Lehr- und Lernprozesse im MINT-Unterricht zu verbessern.

Literatur

- Allchin, D. (2000). *To err is science*. Paper presented at the AAAS, Washington DC.
- Allchin, D. (2004). Error and the nature of science. *American Institute of Biological Sciences*.
- Allchin, D. (2011). Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. *Science Studies and Science Education*, 95(3), 518-542. doi: <https://doi.org/10.1002/sce.20432>
- Allchin, D. (2012). Teaching the nature of science through scientific errors. *Science Education*, 96(5), 904-926. doi: <https://doi.org/10.1002/sce.21019>
- DeLiema, D., Dahn, M., Flood, V. J., Asuncion, A., Abrahamson, D., Enyedy, N. & Steen, F. (2020). Debugging as a context for fostering reflection on critical thinking and emotion. In E. Manalo (Hrsg.), *Deeper learning, dialogic learning, and critical thinking. Innovative research-based strategies for development in 21st century classrooms* (S. 209-228). New York: Routledge.
- Dresel, M., Schober, B., Ziegler, A., Grassinger, R. & Steuer, G. (2013). Affektiv-motivationale adaptive und handlungsadaptive Reaktionen auf Fehler im Lernprozess. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 27(4), 255-271. doi: <https://doi.org/10.1024/1010-0652/a000111>
- Harrison, G. M., Seraphin, K. D., Philippoff, J., Vallin, L. M. & Brandon, P. R. (2015). Comparing models of nature of science dimensionality based on the next generation science standards. *International Journal of Science Education*, 37(8), 1321-1342. doi: <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1035357>
- Hielscher, M. & Honegger, B. D. (2015). Lernumgebungen für den Einstieg ins Programmieren: Versuch einer Klassifikation. Abgerufen von https://programmingwiki.de/images/a/a9/Programmierungsumgebungen_2015.pdf
- Kelleher, C. & Pausch, R. (2005). Lowering the barriers to programming: A taxonomy of programming environments and languages for novice programmers. *ACM Computing Surveys*, 37(2), 83-137. doi: <https://doi.org/10.1145/1089733.1089734>
- Kremer, K. (2010). *Die Natur der Naturwissenschaften verstehen – Untersuchungen zur Struktur und Entwicklung von Kompetenzen in der Sekundarstufe I* (Dissertation, Universität Kassel). Abgerufen von <https://kobra.uni-kassel.de/handle/123456789/2010091734623>
- Michaeli, T. & Romeike, R. (2019). Debuggen im Unterricht - Ein systematisches Vorgehen macht den Unterschied. In A. Pasternak (Hrsg.), *Informatik für alle* (S. 129-138). Bonn: Gesellschaft für Informatik.
- Perscheid, M., Siegmund, B., Taeumel, M. & Hirschfeld, R. (2016). Studying the advancement in debugging practice of professional software developers. *Software Qual J*, 25, 83-110. doi: <https://doi.org/10.1007/s11219-015-9294-2>
- Schmid, R. (in press). *Verständnis von Nature of Science-Aspekten und Umgang mit Fehlern von Schüler*innen der Sekundarstufe I – Am Beispiel von digital-basierten Lernprozessen im informellen Lernsetting Smartfeld*. Dissertation. Studien zum Physik- und Chemielernen. Berlin: Logos.
- Schmid, R., Robin, N., Smit, R. & Strahl, A. (2022). The influence of error learning orientation on intrinsic motivation for visual programming in STEM education. *European Journal of STEM Education*, 7(1), 1-12. doi: <https://doi.org/10.20897/ejsteme/12477>
- Schumacher, R. (2008). Der produktive Umgang mit Fehlern. Fehler als Lerngelegenheit und Orientierungshilfe. In R. Caspary (Hrsg.), *Nur wer Fehler macht, kommt weiter. Wege zu einer neuen Fehlerkultur* (S. 49-72). Freiburg im Breisgau: Herder.
- Shaakumeni, S. N. & Csapó, B. (2019). Exploring the factorial validity of the beliefs about nature of science questionnaire. *Science Education International*, 30(1), 38-44.
- Spychiger, M., Kuster, R. & Oser, F. (2006). Dimensionen von Fehlerkultur in der Schule und deren Messung. Der Schülerfragebogen zur Fehlerkultur im Unterricht für Mittel- und Oberstufe. *Schweizerische Zeitschrift für Bildungswissenschaft*, 28, 87-110. doi: <https://doi.org/10.25656/01:4140>