

p-prims beim Umgang mit zufälligen Ereignissen - eine Untersuchung im Kontext von Messunsicherheiten

Ausgangssituation und Fragestellungen

Messunsicherheiten sind unbestritten ein wichtiger Themenbereich in der Physik. Es liegt in der Natur der Naturwissenschaften, zu experimentieren und zu messen. Demnach muss im Physikunterricht ein Bewusstsein dafür geschaffen werden, dass ein Messergebnis aus einem Intervall, also einem ganzen Set an Zahlen, besteht und nicht aus einem „wahren Wert“, denn *ein* wahrer Wert existiert nicht. Der Bestwert einer Messung kann mit Regulativen ermittelt werden, die bei genauerer Betrachtung immer auf zufällig streuende Werte zurückzuführen sind (vgl. Priemer & Kok, 2025).

Der Zufall spielt also eine zentrale Rolle beim Verständnis von Messunsicherheiten und dem Umgang mit Messergebnissen. Mit der „GUM“ (ISO/IEC Guide 98-3:2008) existiert seit etwa 30 Jahren eine ISO-Norm, die 2 grundsätzliche Wege (Typ-A und Typ-B) beschreibt, Messunsicherheiten festzulegen. Daher findet sich das Konzept des „Messfehlers“ auch aus didaktischen Gründen nicht (mehr) im Physikunterricht (vgl. Priemer & Kok, 2025), denn es würde ein falsches deterministisches Verständnis von Streuungen bei Messprozessen fördern. Darauf basierend wurden in den letzten Jahren einige Unterrichtskonzeptionen entwickelt und validiert. Vielversprechend erwies sich der Ansatz des Autors, „Vertrauenswürdigkeit“ als alltagsweltliches Brückenkonzept zum Fachkonzept der Messunsicherheiten einzusetzen (Nagel, 2025). Dies ist in Unterrichtskonzeptionen für die Sek I (Loidl & Nagel, 2025) und für die Sek II (Bärenthaler-Pachner & Nagel, 2024) umgesetzt.

Zum Umgang mit Messergebnissen und Messunsicherheiten, aber auch zum Zufall selbst, existieren zahlreiche, in der Literatur gut beschriebene Schüler:innen-Vorstellungen wie sie in den Werken von Hull, Jansky & Hopf (2021) oder Schecker, Wilhelm, Hopf, & Duit (2018) zusammengefasst sind. Was aber in der Literatur nahezu vollständig fehlt, sind Studien darüber, welche phenomenological primitives („p-prims“) nach diSessa (1993) die Ausprägung dieser Schüler:innen-Vorstellungen verursachen und beeinflussen. Wanko (2025) stellt in seiner umfassenden Literaturrecherche zudem fest, dass Studien zu p-prims im Umgang mit zufälligen Ereignissen (wie z.B. Streuung von Messwerten) gänzlich fehlen. Diese Forschungslücke möchte der Autor mit der vorliegenden Forschungsarbeit, in Zusammenwirken mit und basierend auf den Vorarbeiten von Wanko (2025) schließen.

Die zentralen Fragestellungen an die Entwicklung des Befragungsinstruments sind daher:

- Welche p-prims beeinflussen Schüler:innen der Sekundarstufe I im Umgang mit zufällig streuenden Messdaten?
- Werden Schüler:innen-Vorstellungen zum Zufall durch p-prims induziert, und wenn ja, welche lassen sich identifizieren oder sogar neu definieren?

Methodischer Rahmen und Entwicklung des Think-Aloud-Interviews

Zur Beantwortung der Forschungsfrage hat Wanko (2025) gemeinsam mit dem Autor ein leitfadengestütztes Interview entsprechend der aktuellen wissenschaftlichen Praxis nach Baur & Blasius (2014) bzw. Krüger et. al (2014) zur Durchführung als Think-Aloud-Interview (vgl.

Charters, 2003) in einem mehrstufigen Verfahren mit Expert:innen-Interview und Pretesting-Interviews entwickelt. Für die Interviewer:innen wurde ein Leitfaden mit Leitfragen, möglichen inhaltlichen Aspekten und obligatorischen (Nach-)Fragen erstellt. Vier zusätzliche Interviewer:innen wurden in den Forschungsprozess eingebunden und erhielten eine Interviewer:innen-Schulung.

Das Think-Aloud-Interview startet mit einem Experiment zur Schwingungsdauermessung am Fadenpendel (mit Startvorrichtung, sodass die Schüler:innen von vornherein keinen menschlichen Einfluss auf die Pendelschwingung suggerieren können). Zunächst soll die eigene Messreihe soll durch die Schüler:innen beurteilt und ein Ergebnis genannt werden, anschließend auch weitere vorgegebene. Danach wird ein Video zu einem Kugelfallexperiment mit Laserlichtschranken-Zeitmessung gezeigt und erwartete und tatsächliche Ergebnisse diskutiert. Im dritten Teil werden verschiedene Thermometer mit unterschiedlicher Messauflösung diskutiert. Abschließend werden die Schüler:innen zu ihrem Vorwissen bzgl. Messen, Messunsicherheiten, Stochastik und Zufall befragt, damit kein Beeinflussungs-Effekt auf die eigentlichen Fragen entsteht (siehe Wanko, 2025).

Die Auswertung der Transkripte erfolgte mit maxqda entlang von Codierleitfäden für deduktive und induktive Kategorien mittels qualitativer Inhaltsanalyseverfahren (nach Mayring & Gläser-Zikuda, 2008). Die InterCoder-Reliabilität (vgl. O'Connor & Joffe, 2020) beträgt $\kappa_1 = 0,89 \pm 0,05$. Im Interpretationsschritt wurde n bekannte Schüler:innen-Vorstellungen gesucht und identifiziert, sowie in einem weiteren Schritt in der Literatur beschriebene bekannte p-prims identifiziert, um nach dem Ausschließungsprinzip neue p-prim Strukturen zu entdecken.

In einer Follow-Up-Studie wurde eine weitere Interviewserie, allerdings nur mit einem verkürzten ersten Teil (Fadenpendel-Experiment als Video) und dem zweiten Teil (Kugelfall-Experiment als Video), durchgeführt, um einen größeren Datensatz zu den möglicherweise neu beschriebenen p-prims im Umgang mit zufälligen Ereignissen zu erhalten. Hierzu wurde auch der Codierleitfaden nachgeschärft.

Die InterCoder-Reliabilität beträgt $\kappa_2 = 0,87 \pm 0,05$. Die Validität beider Studien wird durch umfangreiches Pretesting und die Methode selbst, kombiniert mit der Möglichkeit kommunikativer Validierung während des Interviews sichergestellt.

Ergebnisse

Insgesamt wurden 49 Schüler:innen der Sek I (6. Schulstufe) interviewt. 26 Interviews im Zuge der ersten Studie und 23 weitere für die zweite Studie. Die Schüler:innen wurden hierbei aus 8 Schulen in Wien und 1 Schule in Niederösterreich rekrutiert. Wobei die Aufteilung zwischen Gymnasium und Mittelschule nahezu gleich ist.

5 induktive und 3 deduktive Kategorien konnten durch Handlungsmuster in der ersten Studie mit ausreichend großer Frequenz und Reliabilität identifiziert und (neu) definiert werden. Zahlreiche aus der Literatur bekannte Schülervorstellungen wurden robust und nachvollziehbar zugeordnet, wie z.B. „Der häufigste Wert ist der beste“ (Allie et. al., 1998) oder „Fehler bei Messungen werden bei sich selbst bzw. beim Menschen gesucht“ (Heinicke, 2012). Eine Analyse hinsichtlich Passung auf basale, bereits beschriebene p-prims ordnete die folgenden p-prims den Kategorien zu: *von nichts kommt nichts* und *viel hilft viel* (diSessa, 1993), *Vertrauensprinzip* und *situational-sampling* (diSessa & Sherin, 1998), *similarity clustering* (diSessa, 2018). Es gelang die Beschreibung von 2 neuen p-prims im Umgang mit

streuenden Messwerten: *Technik ist unfehlbar* – es wird gar keine Streuung der Werte erwartet und *die Mitte ist am Besten* – der mittlere Wert einer Reihe zufälliger Messergebnisse wird intuitiv gewählt.

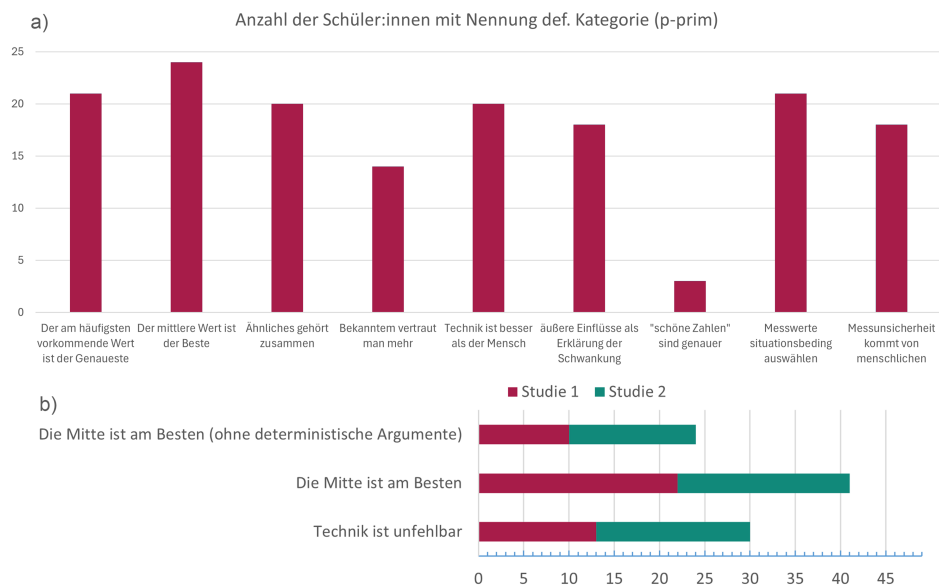


Abb. 1: a) Ergebnisse erste Studie b) Ergebnisse der zweiten Studie

Durch die Detailanalyse zum p-prim *Technik ist unfehlbar* konnte eine Konfrontationsstrategie mit dem Zufall in den Interviews der Studie 2 gezielt entwickelt und verfolgt werden. Schüler:innen, die in dieser Situation den Zufall als Grund für die Streuung akzeptierten, aktivierten das p-prim *die Mitte ist am Besten* und wählten in 14 von 23 Interviews den mittleren Wert der Messreihe. Summiert über beide Studien sind es 24 von 49 (siehe Abb. 1 b).

Diskussion

Die Suche nach (neuen) p-prims, die von Schüler:innen beim Umgang mit zufällig streuenden Messdaten aktiviert werden, entpuppte sich als sprichwörtliche Suche nach der Stecknadel im Heuhaufen, weil eine deterministische Begründung dominant war, sich die in der Manifestierung bekannter Vorstellungen und p-prims rund um das Point-Paradigma zeigte. Die Konfrontationsstrategie mit dem Kugelfall-Experiment, welches das neu beschriebene p-prim *Technik ist unfehlbar* triggerte, war jedoch erfolgreich. So konnte das p-prim *die Mitte ist am Besten* valide für den Umgang mit zufällig streuenden Daten identifiziert werden. Limitierend für die Aussagekraft der Arbeit ist jedoch die regionale geografische Begrenzung der Stichprobe, die Unvermeidbarkeit rudimentärer stochastischer unterrichtlicher Vorerfahrungen und die noch offenen, im Zuge der Interpretation aufgetauchten Fragen: Wird bei Akzeptanz des Zufalls ein mentaler Übergang vom Point- ins Set-Paradigma vollzogen? Wird der Zufall nur als „Deckmantel“ für den Determinismus verstanden? Ist das neu entdeckte p-prim *die Mitte ist am Besten* eigenständig, oder nur eine Ausprägung des Balance-Prinzips (diSessa, 2015).

Literatur

- Allie, S., Buffler, A., Campbell, B. & Lubben, F. (1998). First-year physics students' perceptions of the quality of experimental measurements. *INT. J. Sci. EDUC.*, 20(4), 447-459
- Bärenthaler-Pachner, R. & Nagel, C. (2024). Development and evaluation of a GUM-based curriculum on measurement uncertainty for upper secondary. *Progress in Science Education* (7), 1. <https://doi.org/10.25321/prise.2024.1428>
- Baur, N. & Blasius, J. [Hrsg.] (2014). *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*. Springer: Wiesbaden.
- Charters, E. (2003). The use of think-aloud methods in qualitative research: An introduction to think-aloud methods. *Brock Education Journal*, 12(2), 68–82. <https://journals.library.brocku.ca/brocked/index.php/home/article/view/38>
- diSessa, A. & Sherin, B.L. (1998). What changes in conceptual change? *International Journal of Science Education*, 20(10), 1155–1191.
- diSessa, A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition an Instruction*, (10), 2/3, 105-225.
- diSessa, A. (2018). A friendly introduction to “knowledge in pieces”. In G. K. et al. (Hrsg.), *Invited lectures from the 13th international congress on mathematical education* (S. 65–84). Springer.
- diSessa, A. (2015). Alternative conceptions and P-Prims. In: Gunstone, R. (eds) *Encyclopedia of Science Education*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-2150-0_87
- Heinicke, S. (2012). *Aus Fehlern wird man klug – Eine Genetisch-Didaktische Rekonstruktion des „Messfehlers“*. Berlin: Logos.
- Hull, M., Jansky, A. & Hopf, M. (2021). „Probability-related naive ideas across physics topics“. *Studies in Science Education*, 57.1 (2021), 45–83.
- ISO/IEC Guide 98-3:2008 Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995) (Corrected version 2010-11). www.austrian-standards.at download am 2023-02-10
- Krüger, D., Parchmann, I. & Schecker, H. (Hrsg.). (2014). *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Springer Spektrum: Berlin Heidelberg.
- Loidl, H. & Nagel, C. (2025). Introduction to measurement uncertainties for middle school classes. *Challenges in Physics Education*. Springer. (angenommen, in Publikation befindlich).
- Mayring, P. & Gläser-Zikuda, M. (2008). *Die Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse*. Beltz Verlag.
- Nagel, C. (2025). Trustworthiness as central design principle for introducing uncertainties of measurements to students. *J. Phys.: Conf. Ser.* 2950 012016. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2950/1/012016>
- O'Connor, C. & Joffe, H. (2020). Intercode reliability in qualitative research: Debates and practical guidelines. *International Journal of Qualitative Methods*, 19, 160940691989922. <https://doi.org/10.1177/1609406919899220>
- Priemer, B. & Kok, K. [Hrsg.] (2025). *Messunsicherheiten im Physikunterricht*. Berlin Universities Publishing. <https://doi.org/10.14279/depositonce-21608>
- Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M. & Duit, R. [Hrsg.] (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht*. Springer Spektrum: Berlin. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-57270-2>
- Wanko, J. (2025). *P-prims bei Schüler:innenvorstellungen zum Thema Zufall im Kontext von Messunsicherheiten*. Masterarbeit an der Universität Wien. <https://theses.univie.ac.at/detail/76308#>