

Der Rest ist dann halt Messfehler

- Wie angehende Lehrkräfte in Unterrichtssituationen mit Messdaten umgehen -

Christoph Holz*, Susanne Heinicke*

*WWU Münster, Institut für Didaktik der Physik, Wilhelm-Klemm-Straße 10, 48149 Münster
christoph.holz@uni-muenster.de, susanne.heinicke@uni-muenster.de

Kurzfassung

Der Umgang mit Messdaten ist ein essenzieller Teil physikalischer Fachmethoden. Als solche stellt er auch einen Teil eines nature of science einbeziehenden Physikunterrichtes dar und wird entsprechend in den Lehrplänen vieler Bundesländer gefordert. Die Bedeutung dieser Thematik beschränkt sich aber nicht darauf: Vielmehr weist der Umgang mit experimentellen Daten eine noch größere Relevanz in Bezug auf die Bewertung und Interpretation von Messdaten auf. Ohne die Betrachtung derer begrenzten Genauigkeit ist eine Bewertung gar nicht möglich. Lässt man diese Diskussion aus, prägt dies ebenfalls ein Bild vom Umgang mit Messdaten in der Physik [1]. Physikunterricht, der Experimente einbezieht, kann nicht ohne einen Umgang mit experimentellen Daten stattfinden und vermittelt damit zumindest indirekt (Modelllernen, [2]) ein Bild vom physikalischen Umgang mit Messdaten.

Eine Studie von Ruhrig und Höttecke [3] stellte anhand von Videovignetten heraus, dass es Lehrkräften an Kompetenzen zum Umgang mit unsicheren Evidenzen im Unterricht mangelt. Wie aber findet der Umgang mit Messdaten im tatsächlichen unterrichtlichen Handeln statt? Im Rahmen eines Lehr-Lern-Labors führten angehende Lehrkräfte kurze Unterrichtseinheiten mit quantitativen Experimenten mehrfach durch. Dabei entstanden insgesamt etwa 80 Videos, in denen dieses Handeln analysiert und kategorisiert wurde. Nach einer Vorstellung des übergreifenden Studiendesigns werden Ergebnisse dieser Videoanalyse dargelegt.

1. Ein Beispiel aus einer Lehrveranstaltung

Eine Situation aus der konzipierten Lernumgebung: Eine Studentin plante eine kurze Einheit um ein einfaches quantitatives Experiment der Elektrizitätslehre der 9. Klasse (Stromstärke in einer Masche, vgl. Abbildung 1). Die Planung der Einheit ist in Abbildung 2 dargestellt. Nach einer kurzen Erklärung des Versuchsaufbaus und der Messgeräte sollten Hypothesen über das Verhalten der Stromstärke in der Masche gebildet werden (*Hinführung*). In der *Messung* sollten dann die Spannungsabfälle über den 3 Widerständen gemessen und notiert werden. Nachdem diese mit dem Widerstandsgrößen zu Stromstärken verrechnet werden (*Ergebnis*) sollten die Lernenden nun die berechneten Stromstärken interpretieren und die Regel $I = \text{konst.}$ für die Maschenregel entdecken (*Interpretation*).

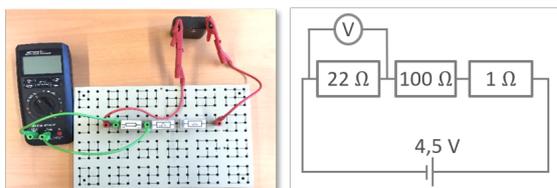


Abb.1: Genutzter Aufbau des quantitativen Experimentes zur Maschenregel (links) und zugehörige Schaltskizze (rechts)

Die Messung der Spannungen, sowie die Berechnung der Stromstärken verlaufen scheinbar reibungslos, bis die Lernenden die berechneten Stromstärken diktieren. Die Studentin schreibt die genannten Stromstärken auf, sodass sich an der Tafel die in Tabelle 1 gezeigte Darstellung ergibt. Der dritte Wert weicht dabei stark von den restlichen ab.

Die Reaktion der Studentin in der Situation (*in action*) lautete:

„Ja also, leider ist das in der Realität nicht immer ganz genau, wir haben manchmal Messunsicherheiten dadurch, dass unser Messgerät auch sehr empfindlich ist ... durch den Innenwiderstand des Kabels geht ja auch schon einiges an Spannung verloren oder wird umgewandelt.“

Hinführung	Erklären von Versuchsaufbaus & Messgeräte; Hypothesen bilden
Messung	Spannungsabfälle über den einzelnen Widerständen messen
Ergebnis	Berechnen lassen und Anschreiben der Stromstärken
Interpretation	SuS leiten die Regel $I = \text{konst.}$ aus den Daten ab.

Abb. 2: Geplanter Ablauf der Unterrichtseinheit seitens der Studentin

Spannung in V	Widerstand in Ω	Stromstärke in A
0,78	22	0,035
3,49	100	0,0349
0,02	1	0,02

Tab. 1: Notierte Tabelle von Messungen und Ergebnissen an der Tafel

Situationen wie die beschriebene scheinen im unterrichtlichen Umgang mit experimentellen Daten keine Ausnahme darzustellen. Ein fachmethodisch adäquater Umgang mit diesen scheint auf den ersten Blick nur in wenigen Fällen stattzufinden. Diese Erkenntnis lenkte den Forschungsschwerpunkt dieser Studie auf den unterrichtlichen Umgang mit experimentellen und vor allem *unsicheren Daten*.

Der Begriff *unsichere Daten* wird dabei bewusst weit gefasst. Er bezieht beispielsweise schwankende Messdaten ebenso ein wie von der theoretischen Erwartung abweichende Ergebnisse und ähnliche Vorkommnisse.

2. Umgang mit Messdaten

Gerade der Umgang mit unsicheren Daten stellt eine Art Kristallisationspunkt für den Umgang mit Messdaten dar: Hier wird die unterrichtliche Handlung seitens der Lehrkraft stark erfordert. Besonders dieser Umgang mit unsicheren Daten bietet daher große Chancen für das Lernen physikalischer Fachmethoden und damit von *nature of science* [4].

Ein Blick in die universitäre Ausbildung und besonders experimentelle Praktika zeigt, dass nach Absolvierung dieser Praktika zwar Rechenroutinen beherrscht, die zugrunde liegenden Fachmethoden jedoch meist nicht tiefgreifend verstanden werden [5]. Allgemeiner scheinen das Berechnen und Verstehen von Messunsicherheit höchstens gering verknüpft zu sein [6,7]. Zudem zeigt sich im Umgang mit experimentellen Daten eine Diskrepanz des *reasoning in action* und des *reasoning on action* [8]. Es scheint also eine Diskrepanz zwischen der Art und Weise zu geben mit der *innerhalb* einer experimentellen Situation über Daten argumentiert wird gegenüber der Art und Weise, mit der dies *außerhalb* der Situation geschieht.

Ein Blick in schulische Forschung zeigt besonders bzgl. des Umgangs mit unsicheren Daten seitens der Lehrkräfte ein wenig bearbeitetes Forschungsbild. Zu nennen ist hier vor allem eine Vignetten Studie von Ruhrig & Höttecke [3]. Diese zeigt, dass Lehrkräfte den Umgang mit unsicheren Evidenzen zwar als wichtig erachten, ihre Kompetenzen zum unterrichtlichen Umgang mit diesen aber höchstens schwach ausgeprägt sind. Bezüglich des tatsächlichen Verhaltens (*in action*) scheint keinerlei Forschungsgrundlage zu bestehen.

Wie auch in vielen weiteren Facetten des Lehrerhandelns [9] findet sich auch im Physikunterricht

eine Diskrepanz zwischen *in* und *on action* (bspw. Intention gegenüber Handlung, [10]). Eine solche Diskrepanz scheint auch im Umgang mit unsicheren Daten vorzuliegen [11]. Für eine vollständige Untersuchung sollte eine solche Studie demnach sowohl *on action* als auch *in action* und die Verbindung der beiden Seiten einbeziehen.

Das im Folgenden vorgestellte Studiendesign widmet sich daher den folgenden Forschungsfragen:

- Wie handeln angehende Lehrkräfte in unterrichtlichen Situationen, wenn unsichere Daten auftreten (*in action*)?
- Welche Faktoren beeinflussen das Handeln von angehenden Lehrkräften in diesen Situationen?
- Welche Zusammenhänge gibt es zwischen Handeln (*in action*) und *reasoning on action* der angehenden Lehrkräfte?

Im Rahmen dieses Artikels wird nach der Beschreibung des Forschungsdesigns im Wesentlichen auf die erste der Forschungsfragen eingegangen.

3. Design der Studie

Um die Erschließung des Forschungsfeldes zu ermöglichen wird ein breit aufgestellter mixed-method-Ansatz verwendet, der neben verschiedenen Ansätzen und erfassten Merkmalen auch eine tiefe qualitative Auseinandersetzung zulässt. Als grobe Einteilung wird hier die oben beschriebene Trennung zwischen *on action* und *in action* zugrunde gelegt. Um ein möglichst vollständiges Bild des Forschungsfeldes zu geben, werden beide Bereiche sowie die Verknüpfung von diesen betrachtet. Eine Übersicht des im Folgenden beschriebenen Designs ist in Abbildung 3 dargestellt.

Die Studie wird innerhalb eines universitären Seminars durchgeführt, wobei die Daten personenbezogen erhoben werden. Es ist daher möglich einzelne Fälle durch alle Instrumente zu verfolgen und zu verknüpfen.



Abb. 3: Design der mixed-method-Studie

3.1. *in action*

Das tatsächliche Handeln der Studierenden in unterrichtsähnlichen Situationen wird mithilfe von Videoaufzeichnungen von Unterrichtsminiaturen (vgl. [12]), die innerhalb der Lernumgebung durchgeführt werden, erhoben und analysiert.

3.2. *on action*

Neben schriftlichen Reflexionsanlässen werden hier im Wesentlichen das fachmethodische Wissen bzgl. des Umgangs mit experimentellen Daten (adaptiert von [13]) und die Einstellung zu Messunsicherheit in Physik und Physikunterricht (vgl. [11]) erhoben.

3.3. Verknüpfung zwischen *in* und *on action*

Für die Erschließung des Forschungsfeldes sind nicht nur die beiden Seiten *on action* und *in action* von Interesse. Von ebenso großem Interesse ist die Verknüpfung der beiden Seiten, da hier die bereits genannte Diskrepanz zu Tage tritt. Diese Verknüpfung wird mittels zweier methodischer Ansätze untersucht:

Eine vorgegebene, identische Unterrichtsminiatur wird von allen Studierenden unterrichtet (*in action*) und als schriftliche Vignette ausgefüllt (*on action*). Dies ermöglicht neben eines Vergleichs der tatsächlichen Umgänge (*in action*) verschiedener Studierender in ähnlichen Situationen vor allem den direkten Vergleich von *on action* (Vignette) und *in action* (Durchführung).

Desweiteren werden *stimulated recall*-Interviews mit den Studierenden geführt. Dort werden mit den Studierenden einzelne eigene Videoausschnitte diskutiert. Mittels dieser Methode wird beispielsweise eine tiefgreifendere Analyse von situationalen Entscheidungen im Umgang mit unsicheren Daten aber auch ein Einblick in die persönliche, subjektive Wahrnehmung der Situation seitens der Studierenden ermöglicht.

3.4. Weitere Merkmale

Zusätzlich werden weitere Merkmale erhoben, von denen ein Einfluss auf den Umgang mit unsicheren Daten in unterrichtlichen Situationen vermutet wird. Einerseits wird die Selbstwirksamkeitserwartung der Studierenden bezüglich des Experimentiereinsatzes im Physikunterricht [14] zu verschiedenen Zeitpunkten der Lernumgebung festgehalten. Andererseits werden die Toleranz gegenüber Unsicherheit (Intolerance of Uncertainty Scale [15]), sowie Selbsteinschätzungen zu fachlichem Wissen und fachmethodischem Wissen erhoben.

4. Ergebnisse der Videoanalyse

Im Rahmen des folgenden Kapitels werden Ergebnisse aus der Analyse des Videomaterials präsentiert. Dazu wird zunächst kurz auf die Herkunft des Datenmaterials eingegangen, um die daraus entstehenden Erkenntnisse einordnen zu können. Es folgt dann die Beschreibung der erstellten Kategoriensysteme und die Darstellung der Ergebnisse.

4.1. Herkunft des Datenmaterials

Studierenden planen in der untersuchten Lernumgebung kurze Unterrichtsminiaturen von 12 Minuten (vgl. [12]) um einfache, meist quantitative Experimente. Diese werden reflektiert, optimiert und wiederholt. Somit führen alle Studierende eine Einheit –

unter ggfs. leichter Veränderung - bis zu dreimal durch. Auch eventuelle erfahrungsbezogene Veränderungen können somit im Videomaterial analysiert werden. Die Schülergruppe ändert sich über die fortschreitenden Iterationen von bekannten Studierenden bis hin zu tatsächlichen Schülerinnen und Schülern. Die identische Unterrichtssituation findet zusätzlich zu diesen Durchführungen statt. Durch diese Durchführungen entstanden somit bislang 131 Videos, wobei in 77 dieser Videos quantitativ experimentiert wurde. Mit 63 von 77 Videos traten in sehr vielen Fällen unsichere Daten auf. Die identische Unterrichtsminiatur macht 14 der 77 Videos aus.

Die Lernumgebung findet im Master of Education der Universität Münster statt, die fachliche und fachlich-experimentelle Ausbildung der Studierenden ist zu diesem Zeitpunkt somit abgeschlossen.

4.2. Analyse und Kategoriensystem

Die Analyse der Videosequenzen wurde mittels qualitativer Inhaltsanalyse vollzogen. Dabei wurden zwei Kategoriensysteme gebildet. In einer *Grobstruktur* wurden unterschiedliche Phasen des unterrichtlichen Experimentes (*Hinführung*, *Messung*, *Ergebnis* und *Interpretation*) wie in Abbildung 2 und im Eingangsbeispiel gezeigt unterschieden und kodiert. Zusätzlich wurden hier das *Auftreten von unsicheren Daten* und der *Umgang mit unsicheren Daten* kodiert.

In einer *Feinstruktur* wurde der Umgang mit unsicheren Daten detailliert aufgeschlüsselt. Dieses Kategoriensystem wurde induktiv gebildet. Der hier gefundene Umgang mit unsicheren Daten unterteilt sich in drei Oberkategorien:

- *Argumentativer Umgang*: Studierende verweisen beispielsweise auf mögliche Einflussfaktoren, spiegeln die Frage zurück in die Klasse oder nennen einen erwarteten Theoriewert.
- *Fachmethodischer Umgang*: Studierende wiederholen beispielsweise Messwerte, Runden oder wählen Werte bei schwankenden Messwerten.
- *Vernachlässigen und Vertuschen*: Studierende lassen beispielsweise unpassende Daten unbegründet aus, oder verändern aufgenommen Daten.

4.3. Ergebnisse - Grobstruktur

Mithilfe der Grobstruktur kann der Zeitpunkt des Umgangs mit unsicheren Daten im Verlauf der einzelnen Unterrichtseinheiten nachvollzogen werden. In Abbildung 4 ist ein beispielhafter Verlauf einer solchen Einheit dargestellt. In diesem Fallbeispiel wird ein häufig erkennbares Vorgehen deutlich: Der Umgang mit unsicheren Daten (*lila*) findet erst im Rahmen der *Interpretation* (*grün*) statt. Die Art und Weise des Umgangs ist rein *argumentativ*. Dieser Umgang findet sehr spät statt, obwohl bereits im frühen Verlauf der Einheit unsichere Daten auftraten (*schwarz*).

Aus der Analyse des Videomaterials ergeben sich drei wesentliche Erkenntnisse:

- Der Umgang mit unsicheren Daten findet überwiegend sehr spät in den Unterrichtsminiaturen statt (*Interpretation*). Hier ist der Umgang stets *argumentativ*.
- Ein Umgang im Rahmen der *Hinführung* tritt nicht auf.
- Ein früherer Umgang im Bereich *Messung* findet meist nur sehr kurz statt. Er ist in einigen Fällen auch *fachmethodischer* Natur.

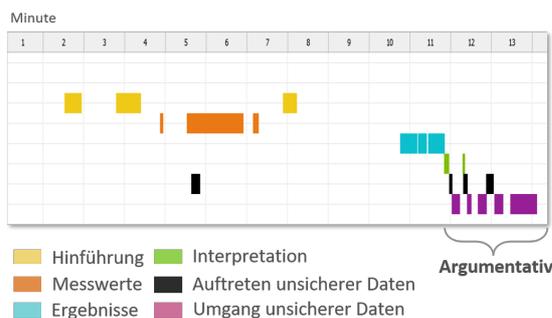


Abb. 4: Fallbeispiel für späten, rein argumentativen Umgang mit unsicheren Daten

4.4. Ergebnisse - Feinstruktur

Besonders der fachmethodische Umgang ist hier von Interesse, da ein solcher Umgang – sofern er fachlich adäquat verläuft - von fachdidaktischer Seite aus wünschenswert ist. Mit Hilfe der Feinstruktur kann die Art und Weise des Umgangs mit unsicheren Daten näher beleuchtet werden. Die Kategorien des induktiv gebildeten Kategoriensystems geben hier weitere Auskünfte.

An dieser Stelle wird der fachmethodische Umgang anhand zweier Beispielsituationen demonstriert, die oftmals im Videomaterial zu finden sind: „Umgang mit schwankenden Messwerten“ und „Rundung & begrenzen der Nachkommastellen“.

4.4.1. Umgang mit schwankenden Messwerten

Abbildung 5 zeigt einen Ausschnitt der Unterkategorien der Kategorie „Umgang mit schwankenden Messwerten“. Neben fachmethodisch adäquaten Vorgehensweisen wie der *Angabe eines Intervalls* und dem *Einpendeln lassen* zeigen sich auch viele inadäquate Vorgehensweisen. Die Wahl des *ersten* oder *letzten* gezeigten Wertes beispielsweise beschreiben typische Schülervorstellungen im Umgang mit experimentellen Daten [16]. Ebenso wird die Auswahl eines Wertes aus der schwankenden Anzeige des Öfteren ohne Hilfestellung in die Hand der Lernenden gegeben.

Die weitere Unterteilung der Kategorie *Wahllos oder passende Auswahl* zeugt von einer weiteren Kategorie von Handlungsweisen: Neben fachmethodisch adäquaten und inadäquaten Vorgehensweisen werden hier Werte so gewählt, dass sie zum Unterrichtsziel – beispielsweise einem zu zeigenden Gesetz – passen. Anders als bei der schlichten inadä-

quaten Verwendung von Fachmethoden wird hier mit Intention inadäquat gehandelt, beispielsweise zu Gunsten einer Vermeidung von Diskussionen oder unsicheren Daten.

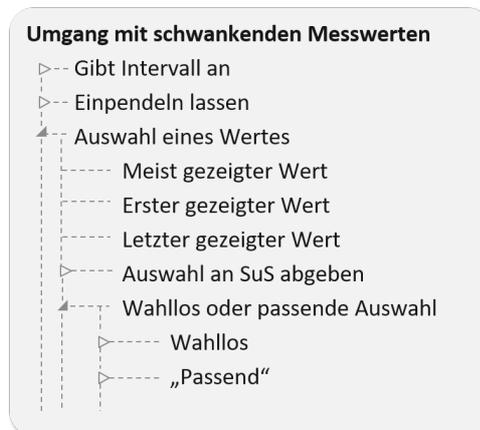


Abb. 5: Ausschnitt des induktiv gebildeten Kategoriensystems, Unterkategorien der Kategorie „Umgang mit schwankenden Messwerten“

4.4.2. Runden & Nachkommastellen begrenzen

Im Falle der Fachmethode „Runden & Nachkommastellen begrenzen“ ergibt sich eine weitere Kategorie von Handlungsweisen. Auch hier sind fachlich inadäquate Vorgehensweisen, sowie absichtliche Handlung zum Erreichen des gesetzten Unterrichtsziels zu finden (bspw. das *Wegrunden einer wackelnden Nachkommastelle*).

Neben den bereits genannten Handlungsweisen findet sich jedoch eine weitere: Das fachmethodische Handeln auf Basis von Routinen. Dieses ist besonders bei der Wahl von anzugebenden Nachkommastellen sichtbar. Hier werden sehr häufig routinemäßig zwei oder drei Nachkommastellen gewählt. Eine Begründung bleibt aus und die Wahl ist fachmethodisch inadäquat.

4.4.3. Zusammenfassung der Feinstruktur

Zusammenfassend wird bei Betrachtung der Feinstruktur des fachmethodischen Umgangs deutlich:

- Der fachmethodische Umgang findet sehr oft auf physikalisch inadäquater Weise statt.
- Neben inadäquater Nutzung von Fachmethoden *aus Gewohnheit* tritt auch die inadäquate Nutzung *zu Gunsten eines zu erreichenden Lehrzieles* (idR. ein Fachinhalt) oftmals auf.

5. Diskussion & Ausblick

Das Erlernen physikalischer Fachmethoden ist ein wichtiges Lernziel des Physikunterrichtes, wenn dieser neben theoretischen Inhalten auch vermitteln soll, wie Physik und physikalische Forschung funktionieren (*nature of science*). Trotz einer abgeschlossenen experimentell-fachlichen Ausbildung weisen große Teile der untersuchten Studierenden Defizite im fachmethodischen Umgang mit unsicheren Daten auf. Methoden werden aus Gewohnheit oder sogar mit Intention inadäquat angewendet. Besonders der

absichtliche inadäquate Einsatz von Fachmethoden zum Erreichen eines Unterrichtsziels ist hervorzuheben.

Die genannten Erkenntnisse zeugen von zwei bestehenden Problemen:

1. Studierende scheinen auch nach abgeschlossener experimenteller Ausbildung kein tiefes Verständnis von der Anwendung physikalischer Fachmethoden zu besitzen.
2. Die Rolle der Fachmethoden als Lernziel scheint gegenüber fachlichen Zielen als gering wahrgenommen zu werden. Es wird in Kauf genommen ersteres inadäquat zu vermitteln um das fachliche Ziel (z.B. das zu zeigende Gesetz) zu erreichen.

Ausgehend vom zweiten Punkt sind auch die Erkenntnisse der Grobstruktur einordbar: Der Umgang mit den unsicheren Daten beispielsweise im Messprozess oder bereits in der Hinführung (etwa durch Eingehen auf die Messgeräte) wird scheinbar als nicht wichtig erachtet. Erst wenn dieser Umgang innerhalb der Interpretation notwendig wird, da er der Theorie zu widersprechen scheint, wird gehandelt. Die Handlung zu diesem Zeitpunkt findet, wie dargestellt wurde, rein argumentativ statt. Dies kann mit einem „Kleinreden“ der Differenzen bzw. einer „Rechtfertigung“ der physikalischen Theorie gleichgesetzt werden.

Teil des größeren Studiendesigns sind auch Interviews, in denen Studierende mit eigenen Videosequenzen bzgl. des Umgangs mit unsicheren Daten konfrontiert werden. Auf die Nachfrage nach, was einem Studierenden in diesem Moment „durch seinen Kopf ging“ antwortete dieser sehr bezeichnend:

„wahrscheinlich habe ich da schon drüber nachgedacht, wie ich diesen Unterschied jetzt kleinreden kann“

Ein Vorgehen wie dieses beschreibt nicht adäquat wie Physik mit experimentellen Daten umgeht, vermittelt dieses inadäquate Vorgehen aber potenziell an Lernende (Modellernen [2]). Um eine solche fälschliche Vermittlung zu vermeiden besteht sowohl von fachlicher als auch fachdidaktischer Seite Handlungsbedarf.

Das hier vorgestellte Studiendesign zielt auf die Schaffung einer empirischen Grundlage des Forschungsfeldes „Umgang mit unsicheren Daten im Physikunterricht“. Davon ausgehend können weitere Forschung, sowie die Entwicklung geeigneter Lernumgebungen angeschlossen werden, um die hier dargestellten Problematiken näher zu beleuchten und anzugehen.

6. Literatur

- [1] Heinicke, S. (2014). Experimentieren geht nicht ohne (Mess-)Unsicherheiten. *Naturwissenschaft im Unterricht Physik: Experimentieren Gestalten* 144, S. 29-31.

- [2] Bandura, A. (1976). *Lernen am Modell. Ansätze zu einer sozial-kognitiven Lerntheorie*. Stuttgart: Klett.
- [3] Ruhrig, Jan; Höttecke, Dietmar (2015): Components of Science Teachers' Professional Competence and Their Orientational Frameworks when Dealing with Uncertain Evidence in Science Teaching. In: *Int J of Sci and Math Educ* 13 (2), S. 447–465.
- [4] Heinicke, Susanne; Glomski, Julia; Priemer, Burkhard; Rieß, Falk (2010): Aus Fehlern wird man klug - Über die Relevanz eines adäquaten Verständnisses von "Messfehlern" im Physikunterricht. In: *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule* 59 (5), S. 26–33.
- [5] Séré, M.-G.; Journeaux, R.; Larcher, C. (1993): Learning the statistical analysis of measurement errors. *International Journal of Science Education* 15 (4), S. 427–438.
- [6] Buffler, Andy; Allie, Saalih; Lubben, Fred (2001): The development of first year physics students' ideas about measurement in terms of point and set paradigms. *International Journal of Science Education* 23 (11), S. 1137–1156.
- [7] Heinicke, S.; Riess, F. (2009): How to cope with Gauss's errors. In: G. Cakmakci & F. Tasar (Hg.): *Contemporary Science Education Research: Learning and Assessment*, S. 23–32.
- [8] Heinicke, S.; Riess, F. (2012): Missing Links in the Experimental Work: Student's Actions and Reasoning on Measurement and Uncertainty. In: L. Maurines & A. Redfors (Eds.), *ESERA 2011 Proceedings. Nature of Science, History, Philosophy, Sociology of Science*.
- [9] Wahl, Diethelm (1991). *Handeln unter Druck: Der weite Weg vom Wissen zum Handeln bei Lehrern, Hochschullehrern und Erwachsenenbildern*. Weinheim: Deutscher Studien Verl.
- [10] Fischler, H. (1994). Concerning the difference between intention and action – teachers' conceptions and actions in physics teaching. In: Carlgren, I., Handal, G., Vaage, S. (Hrsg.) *Teachers' minds and actions. Research on teachers' thinking and practice*, S. 165-180. Falmer Press: London.
- [11] Holz, C. & Heinicke, S. (2019). Messunsicherheit – ein ungeliebter Gast im Physikunterricht? In: S. Bernholt (Hrsg.) *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe*, Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Jahrestagung in Kiel 2018, S. 89-92.
- [12] Korneck, F., Kunter, M., Oettinghaus, L., Lamprecht, J. & Sach, M. (2014). Analyse von Unterrichtshandeln in komplexitätsreduzierten Sequenzen. In: S. Bernholt (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung zwischen Science- und Fachunterricht*. Jahrestagung der GDGP 2013. Kiel: IPN.

- [13] Heinicke, Susanne (2012). *Aus Fehlern Wird Man Klug: Eine Genetisch-Didaktische Rekonstruktion Des Messfehlers*. Logos Verlag, Berlin.
- [14] Meinhardt, C. (2018). *Entwicklung und Validierung eines Testinstruments zu Selbstwirksamkeitserwartungen von (angehenden) Physiklehrkräften in physikdidaktischen Handlungsfeldern*.
- [15] Carleton, R. N., Norton, M. P., & Asmundson, G. J. (2007). *Fearing the unknown: A short version of the Intolerance of Uncertainty Scale*. *Journal of Anxiety Disorders* 21 (1), S. 105-117.
- [16] Allie, Saalih; Buffler, Andy; Campbell, Bob; Lubben, Fred (2007): *First-year physics students' perceptions of the quality of experimental measurements*. In: *International Journal of Science Education* 20 (4), S. 447–459.

Anhang

Dieses Projekt wird im Rahmen der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert.