

## Messunsicherheiten mit Hilfe von Lehrvideos verstehen

- Entwicklung von Lehrvideos zum Umgang mit Messdaten für Physikpraktika -

**John Hamacher, Jan Erkelenz, Heidrun Heinke**

RWTH Aachen

hamacher@physik.rwth-aachen.de, heinke@physik.rwth-aachen.de

### Kurzfassung

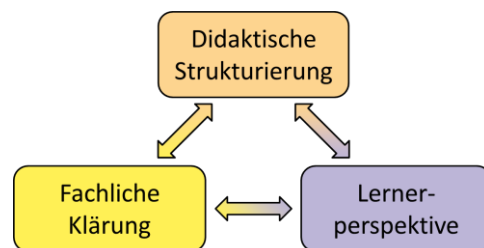
Für viele Studierende stellt die Auswertung von aufgenommenen Messdaten einen kritischen Bestandteil eines Physikpraktikums dar. Denn wie nationale und internationale Studien zeigen, verfügen nur wenige Studierende über die notwendigen Kompetenzen im Umgang mit Messunsicherheiten und akzeptieren auch oft nicht die Notwendigkeit ihrer Berücksichtigung. Im Physikpraktikum für Studierende der Biologie und Biotechnologie an der RWTH Aachen wird nach dem Prinzip der didaktischen Rekonstruktion an einem neuen Konzept zur Vermittlung von Messunsicherheiten gearbeitet, um der dargestellten Problematik entgegenzuwirken. Wichtigste Stützen dieses neuen Konzepts stellen der Einsatz von selbst produzierten Lehrvideos und die konsequente Umsetzung des „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“ (GUM) dar. Im Beitrag wird die Ausgangslage des Praktikums vor der Überarbeitung erläutert, das vollständige neue Konzept vorgestellt sowie eine didaktische Begründung für die Nutzung von Lehrvideos und die Einbindung des GUM gegeben.

### 1. Einleitung

Durch Alltagsvorstellungen, den Schulunterricht, die universitäre Ausbildung und Lehrbücher kann bei Studierenden leicht der Eindruck entstehen, dass experimentell gewonnenes physikalisches Wissen objektiv, eindeutig und immer fehlerfrei sei [1 und 2]. Die aus einer solchen Sichtweise entstehenden inadäquaten Vorstellungen über Genese und Charakter physikalischer Erkenntnisgewinnung treten sehr deutlich in physikalischen Anfängerpraktika an Hochschulen zum Vorschein, wenn Studierende erstmalig selbstständig physikalische Größen vermessen müssen und somit zwangsweise mit der Existenz von Messunsicherheiten konfrontiert werden und den korrekten Umgang mit ihnen erlernen sollen. Denn das Auftreten von unterschiedlichen Messwerten bei identischem Versuchsaufbau und bei gleicher Versuchsdurchführung ist ein in theoretischen Betrachtungen oft schnell abgehandelter Aspekt, mit dem sich folglich die Mehrheit der Praktikums Teilnehmer überhaupt nicht oder nur oberflächlich auseinandergesetzt hat. Eine zusätzliche Verschärfung erfährt dieser Missstand durch die Tatsache, dass auch in den Praktikumsveranstaltungen der Schwerpunkt typischerweise weniger auf die wissenschaftstheoretische Einbettung von Messunsicherheiten in den Messprozess als vielmehr auf ihre mathematische Behandlung innerhalb des Auswertungsteils gelegt wird. In Konsequenz bleiben die in einem solchen Praktikum erworbenen Kompetenzen zum Umgang mit Messunsicherheiten oft auf einem unzureichenden Niveau, das den Studierenden lediglich das Abarbeiten von starren, „kochbuchartigen“ und nicht verstandenen Rechenroutinen erlaubt [3 und 4]. Zusätzlich zeigt eine Studie von Schwarz et al. [5], dass die Mehrheit der Studierenden Messun-

sicherheiten als unnötige Last empfinden, da aus Studierendenperspektive häufig kein Mehrwert aus ihrer Betrachtung für die Bewertung experimenteller Ergebnisse erwächst. Dementsprechend ist kein Aufbau von Metawissen über Messunsicherheiten ohne ihre explizite Thematisierung zu beobachten, was sich mit den Ergebnissen von Abbott deckt [6]. Wie jedoch mehrere Studien zeigen, besitzt eine konsequente Berücksichtigung solcher Inhalte ein gewinnbringendes Moment für die Studierenden. Ihre Vorstellungen über Messprozesse und die darin zur Anwendung kommenden Methoden haben einen direkten Einfluss auf alle Phasen des praktischen experimentellen Arbeitens und können somit zu einer höheren Qualität ihrer Versuchsauswertungen führen [2 und 7]. Zudem darf angenommen werden, dass eine korrekte theoretische Durchdringung des Konzepts der Messunsicherheiten das generelle wissenschaftliche Denken und Arbeiten der Studierenden in allen Fächerdomänen fördert.

An der RWTH Aachen wird für die Studiengänge Biologie und Biotechnologie das gemeinsame Phy-



**Abb.1:** Prinzip der didaktischen Rekonstruktion nach Kattman et al. [8]

sikpraktikum<sup>1</sup> entsprechend dem in Abbildung 1 dargestellten und in der fachdidaktischen Forschung etablierten Prinzip der didaktischen Rekonstruktion nach Kattmann et al. [8] überarbeitet. Dabei stellen mehr Kontextorientierung und eine adressatenspezifische Aufarbeitung der Versuche zentrale Aspekte dieser Neugestaltung dar. In diesem Rahmen wird auch die Einbindung der wichtigen Thematik der Messunsicherheiten für beide Zielgruppen prototypisch für andere Praktika verbessert. Im Folgenden werden zum einen die besonderen Rahmenbedingungen und strukturellen Defizite des aktuellen Nebenfachpraktikums beschrieben. Zum anderen wird der aktuelle Stand des zurzeit in Entwicklung befindlichen neuen Konzepts zur Vermittlung von Kompetenzen im Bereich Messunsicherheiten vorgestellt, in dem der Einsatz von Lehrvideos<sup>2</sup>, aus später noch erörterten Gründen, ein zentraler Bestandteil ist.

## 2. Status quo im Physikpraktikum für Biologen

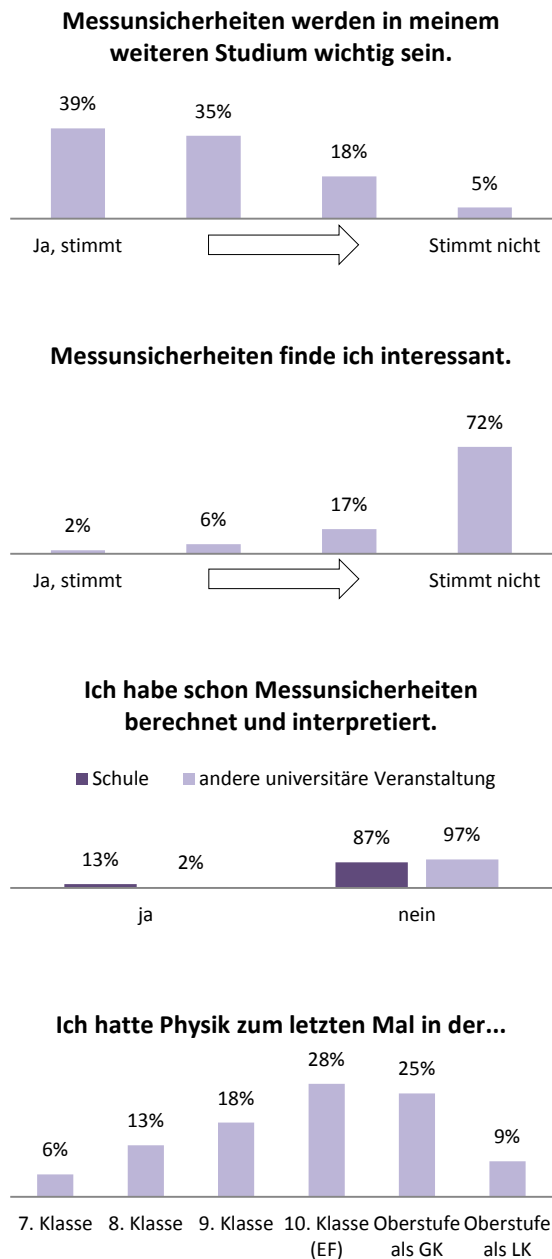
Der Studiengang Biologie stellt einen typischen Studiengang dar, in dem in Deutschland im Rahmen der Physikausbildung häufig ein Nebenfachpraktikum absolviert wird [9]. Wie in jedem universitären Physikpraktikum ist auch hier der Erwerb experimenteller Kompetenzen ein wichtiges Ziel der Lehrveranstaltung [10]. Nach Schreiber et al. [11] können folgende drei Hauptbereiche experimenteller Kompetenz identifiziert werden: „Planung“, „Durchführung“ und „Auswertung“ von Experimenten. Als Bestandteil der fachlichen Klärung zeigt eine von Effertz et al. [12] durchgeführte deutschlandweite Befragung unter Biologiedozenten zu den Zielen physikalischer Praktika für Biologiestudierende, dass von den drei Bereichen die „Auswertung“ als wichtigster Kompetenzbereich eingestuft wird. Diese Erkenntnisse kontrastierend, offenbaren Studien zur Erhebung der Lernerperspektive im Physikpraktikum für Biologen eine große Diskrepanz zwischen den von Lehrenden angestrebten und den von den Studierenden wirklich erreichten Lernzielen in diesem Kompetenzbereich. Wie von Schwarz et al. [5] gezeigt wurde, besitzen die Studierenden sowohl vor als auch nach dem Praktikumsbesuch kaum fundierte Kenntnisse zum Umgang mit Messunsicherheiten und sind mehrheitlich nicht in der Lage sie korrekt anzugeben. Da aber ohne solche Kenntnisse eine belastbare physikalische Auswertung von Messdaten unmöglich ist, verfehlt das Praktikum eines der nach Expertenmeinung wichtigsten Ziele. Zusätzlich zeigt die Analyse der von den Studierenden benötigten Zeit für das Absolvieren eines kompletten Prak-

tikumsversuchs ein weiteres Problem auf: Während die Vorbereitung und Durchführung eines Versuchs zusammen im Schnitt ca. 4 Stunden in Anspruch nehmen, dauert die Protokollerstellung inklusive der von den Studierenden als besonders schwer empfundenen Berechnung und Diskussion von Messunsicherheiten im Schnitt ca. 7 Stunden [9]. Dabei steht den Studierenden nur während der ca. 3-stündigen Durchführungsphase ein Praktikumsbetreuer für ihre Fragen zur Verfügung. Zusammenfassend kann damit folgendes Defizit formuliert werden: In der Auswertungsphase, in der ein erheblicher Teil des Erwerbs wichtiger Praktikumskompetenzen stattfinden soll, sind die Studierenden auf sich allein gestellt und erreichen trotz sehr hohen Zeitaufwands die angestrebten Lernziele nur in unzureichendem Maß.

Um vertiefte Einblicke über Vorkenntnisse und Einstellungen der Studierenden zum Thema Messunsicherheiten zu gewinnen, wurde im WS 2014/15 im Physikpraktikum für Biologen an der RWTH Aachen ein Fragebogen eingesetzt. Ausgewählte Ergebnisse sind in Abbildung 2 dargestellt. Anhand dieser Daten ist zu erkennen, dass eine Mehrheit von 74% der Befragten Messunsicherheiten tendenziell zwar als wichtig für ihr weiteres Studium erachtet, jedoch ein noch größerer Anteil von 89% sich nicht für sie interessiert. Daraus wird abgeleitet, dass die Beschäftigung mit Messunsicherheiten ausschließlich extrinsisch motiviert zu sein scheint. Weiterhin ist der hohe Anteil Studierender auffällig, der weder Messunsicherheiten in der Schule, noch in anderen universitären Veranstaltungen berechnet und interpretiert hat, obwohl die Bewertung von Daten explizit in den nationalen Bildungsstandards verankert ist [13] und auch in Veranstaltungen verlangt wurde, die vor Praktikumsbeginn bereits von den Studierenden absolviert wurden. Für eine Erklärung des oben beschriebenen Befunds werden somit bedingt durch die Fragenformulierung folgende Interpretationsansätze als möglich erachtet: Entweder das Wissen um die praktische Auseinandersetzung mit Messunsicherheiten erreicht nur in wenigen Fällen das Langzeitgedächtnis und die Praktikums Teilnehmer erinnern sich nicht daran. Oder die ausdrückliche Verknüpfung der gleichzeitigen Berechnung und Interpretation von Messunsicherheiten stellt für die Studierenden eine neue Situation dar, mit der sie im Nebenfachpraktikum erstmalig konfrontiert werden. Außerdem besteht die Möglichkeit, dass sich die Studierenden vor Praktikumsbeginn ausschließlich theoretisch mit dem Stoff auseinandergesetzt haben. Unter Berücksichtigung der Curricula der hier untersuchten Studiengänge kann letzteres nur für die Studierenden der Biotechnologie ausgeschlossen werden. Dieser ca. 40% umfassende Anteil der Befragten musste im ersten Semester die Pflichtveranstaltung „Quantitative Biologie und Computeranwendungen“ mit Abschlussklausur absolvieren, in der viele der im Prak-

<sup>1</sup> Nachfolgend zumeist vereinfacht Physikpraktikum für Biologen genannt.

<sup>2</sup> Ob durch die Videos ein echter Lerneffekt erzielt wird muss nach der Produktion anhand einer Evaluation überprüft werden. Bis dahin wird der Begriff Lehrvideo, statt Lernvideo verwendet.



**Abb.2:** Ergebnisse eines Fragebogens aus dem WS 2014/15 (N=127). Untersucht wurden die Vorkenntnisse und Meinungen Studierender der Biologie und Biotechnologie an der RWTH Aachen zum Thema Messunsicherheiten. Fehlende Prozentwerte entfallen auf die nicht dargestellte Kategorie „Enthaltung“.

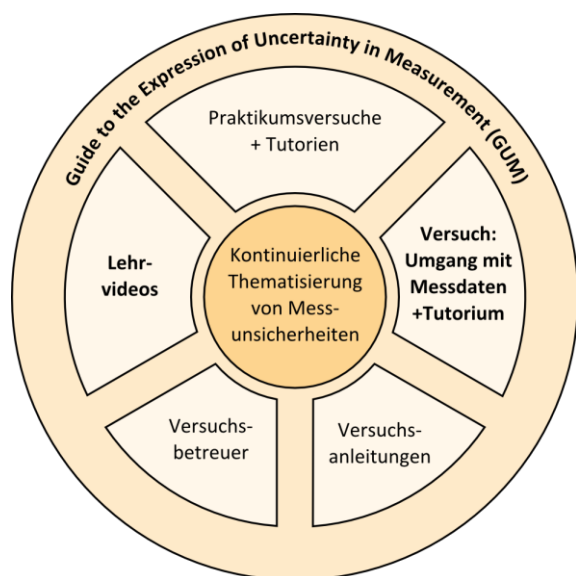
tikum relevanten Inhalte zu Messunsicherheiten behandelt werden. Auf Grundlage des Fragebogens kann keine Aussage darüber getroffen werden, welcher Erklärungsansatz der geeignetste ist. Unabhängig davon ist aber festzuhalten, dass der im Praktikum von den Studierenden geforderte Umgang mit Messunsicherheit für die überwiegende Mehrheit von ihnen eine bis dahin ungewohnte Aufgabe darstellt. Aus der Betrachtung der schulischen Physik-Vorbildung der Studierenden in Abb. 2 ergibt sich das Bild eines sehr heterogenen Teilnehmerfelds, wobei ein Vergleich mit den Daten früherer Erhe-

bungen eine deutliche Verlängerung der physikalischen Ausbildung in der Schule offenbart. Während in den WS 2005/06, WS 2006/07 und WS 2012/13 fast konstant ca. 60% der Praktikumssteilnehmer noch angaben, letztmalig vor dem Eintritt in die gymnasiale Oberstufe Unterricht in Physik gehabt zu haben, liegt der Anteil im WS 14/15 nur noch bei 37%. Hingegen haben 62% der Studierenden dieses Jahrgangs letztmalig in der gymnasialen Oberstufe einen Physikkurs besucht. Hier zeigt sich die Wichtigkeit einer regelmäßigen Kontrolle der Eingangsvoraussetzungen für ein adressatengerechtes Praktikum. Als Fazit der Fragebogenergebnisse können die Erkenntnisse formuliert werden, dass für die meisten der befragten Studierenden Messunsicherheiten zwar ein wichtiges, aber uninteressantes und vor allem vor dem Praktikum unbekanntes Thema darstellt. Folglich muss zum Erreichen der Lernziele im Bereich „Auswertung“ der Experimente in der Neukonzeption des Physikpraktikums für Biologen berücksichtigt werden, dass eine eingängige, explizite und kontinuierliche Thematisierung von Messunsicherheiten in jeder Praktikumsphase gefordert und unterstützt werden muss.

### 3. Ein neuer Ansatz zur Vermittlung von Messunsicherheiten

Um mehr Studierenden das Erreichen der Lernziele im Bereich „Auswertung“ zu ermöglichen, müssen für die bestehenden Defizite erfolgversprechende und im laufenden Praktikumsbetrieb praktikable Lösungen gefunden werden. In Abbildung 3 sind alle Komponenten zu sehen, die in einem neuen Ansatz zur Vermittlung von Messunsicherheiten im Nebenfachpraktikum an der RWTH Aachen direkten Einfluss auf das Verständnis der Studierenden nehmen und durch die Veranstaltung beeinflusst werden können. Im Einzelnen handelt es sich um folgende Bestandteile, die wie nachfolgend beschrieben neu eingeführt bzw. modifiziert werden sollen:

- Ein separater Versuch zur Einführung in den Umgang mit Messdaten und Messunsicherheiten und ein Tutorium zur Vertiefung dienen der Erarbeitung der Grundlagen des Themas und der Lösung erster Anwendungsaufgaben. Beide werden grundlegend überarbeitet.
- Zwei weitere Tutorien zur Vermittlung von versuchsübergreifenden Inhalten und Messmethoden, sowie neun weitere Praktikumsversuche werden alle leicht modifiziert.
- Die Versuchsbetreuer werden bezüglich des neuen Ansatzes zur Vermittlung von Messunsicherheiten geschult.
- Die Versuchsanleitungen werden leicht modifiziert.
- Ein breites Angebot an Lehrvideos zu Messunsicherheiten wird bereitgestellt, wobei alle Lehrvideos neu und selbstständig produziert werden.



**Abb.3:** Komponenten eines neuen Ansatzes zur Vermittlung von Messunsicherheiten im Physikpraktikum für Studierende der Biologie und Biotechnologie an der RWTH Aachen

Alle oben genannten Änderungen sollen unter konsequenter Berücksichtigung des „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“ (GUM) als umfassende theoretische Grundlage zur Interpretation und Behandlung von Messunsicherheiten umgesetzt werden.

In der obigen Liste stellen die Einbindung von Lehrvideos und die Umsetzung des GUM zwei neue Ansätze zur Erreichung der Lernziele beim Verständnis von Messunsicherheiten, ihrer Ermittlung und korrekten Interpretation dar, welche im Folgenden näher vorgestellt werden. Alle anderen bisher bereits existierenden Komponenten werden hinsichtlich einer Berücksichtigung des neuen Ansatzes zur Vermittlung des Konzepts der Messunsicherheiten überarbeitet und dabei konsequent auf die Inhalte des GUM ausgerichtet und daran angepasst.

### 3.1. Das didaktische Potential von Lehrvideos

Um die Studierenden auch zu Hause in der wichtigen Phase der Auswertung unterstützen zu können, wird ein adressaten- und themenspezifisches, immer erreichbares, schnell und unkompliziert verbreitbares und für die Praktikumssteilnehmer attraktives Angebot benötigt. Alle diese Kriterien werden von eigens produzierten, kurzen Lehrvideos zum Umgang mit Messunsicherheiten einschließlich ihrer Ermittlung und Interpretation erfüllt, die online zur Verfügung gestellt werden. Um die generelle Eignung des Mediums Lehrvideo zur Verbesserung von Auswertekompetenzen zu erforschen, führten Effertz et al. [12] im WS 2013/14 mit einer ersten Generation von Lehrvideos eine Pilotstudie durch, in der Studierende eine einfache Auswertung aus dem Praktikumsalltag durchführen sollten. Es konnte gezeigt werden, dass sich durch das Arbeiten mit den Videos die Richtigkeit und Vollständigkeit der Aufgabenlösungen der Studierenden im Vergleich

zu einer Gruppe, die ohne Videos arbeitete, signifikant steigern ließ. Außerdem sank bei den Probanden durch die Videos die subjektiv empfundene Schwierigkeit der zu bearbeitenden Aufgaben. Eine abschließende Befragung unter den Studienteilnehmern mittels Fragebogen offenbarte eine breite Mehrheit, die die Lehrvideos als sinnvolles und nützliches Hilfsmittel im Praktikumsalltag befürworteten. Diesen Ergebnissen folgend wurden Lehrvideos als geeignetes Medium zum Erwerb von Auswertekompetenzen eingestuft.

Die daraufhin beginnende Ausarbeitung eines allgemeinen Konzepts zur Einbindung von Lehrvideos in das Praktikum ergab folgende Eckpunkte: Geplant ist die Entwicklung einer Reihe von fünf- bis achtminütigen, modular aufgebauten Lehrvideos, die adressatenspezifisch die Notwendigkeit der Berücksichtigung von Messunsicherheiten und Grundfähigkeiten ihrer Bestimmung und Interpretation vermitteln sollen. Dabei soll ihre Kompatibilität mit den gängigsten mobilen Endgeräten wie Laptop, Tablet und Smartphone gewährleistet werden. Um zusätzlich eine hohe inhaltliche und technische Qualität der Lehrvideos zu gewährleisten, müssen didaktische Entscheidungen auf drei Konzeptionsfeldern getroffen werden, die an die Kriterien für gute Lernvideos von Schön und Ebner angelehnt sind [14]:

- Es müssen unter Berücksichtigung der Lernziele des Praktikums die Videoinhalte festgelegt und an das Niveau der Adressaten angepasst werden. Darüber hinaus soll durch Berücksichtigung des Sachstrukturmodells von Hellwig [15] gewährleistet werden, dass alle für die Thematik relevanten Aspekte erfasst werden.
- Für jedes Einzelvideo muss die Darbietungsreihenfolge der Inhalte didaktisch begründet werden und für die gesamte Videoreihe muss eine empfohlene Betrachtungsreihenfolge festgelegt werden.
- Für jeden Inhalt innerhalb eines Videos und für die Gesamtheit aller Videos muss eine für das Lernen förderliche Visualisierungsform gefunden werden. Zusätzlich soll trotz eventueller Verwendung unterschiedlicher Videotypen in den Einzelvideos auch optisch erkennbar sein, dass es sich um eine zusammenhängende Videoreihe handelt.

Die Felder konzeptioneller Entscheidungen sind schematisch in Abbildung 4 dargestellt. Um Informationen über das bisher unbekannte Nutzungsverhalten der Praktikumssteilnehmer mit Lehrvideos zu erhalten, wurde im WS 2014/15 eine Usability-Pilotstudie (N=14) mit vier Lehrvideos einer zweiten Generation durchgeführt. Darin sollten die Probanden, welche alle Teilnehmer eines laufenden Praktikums für Biologen waren, zwei vergleichbare Aufgaben aus dem Kontext der Messdatenauswertung in physikalischen Praktika nacheinander lösen. Während der Bearbeitung der zweiten Aufgabe konnten sie auf vier für die Lösung hilfreiche Lehrvideos zurückgreifen. Konkret wurde mit der Studie haupt-

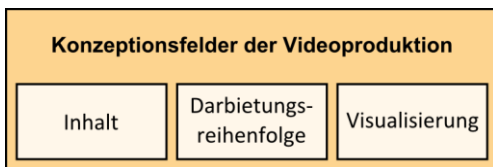


Abb.4: Konzeptionsfelder der Videoproduktion

sächlich untersucht, an welchen Stellen, wie oft und wozu die Lehrvideos während der Lösungserstellung in Anspruch genommen wurden. Zentrale Bestandteile der Datenerhebung während der Aufgabenbearbeitung waren der von den Probanden geforderte Einsatz der Think-aloud Methode, die Aufzeichnung von Sprache und Lösungsniederschrift mittels Livescribe Smartpens und das Aufzeichnen der Bildschirmaktivitäten mittels Screen-Capturing Software. Da die Auswertung der Daten noch nicht vollständig abgeschlossen ist, wird nur das für die weitere Produktion bisher wichtigste Ergebnis der Untersuchung kommuniziert: Anstatt sich die Videos und die darin für die Aufgabe relevanten Informationen komplett anzusehen, arbeitete die Mehrheit der Studienteilnehmer sehr formel- und rechnungsorientiert. Explizit zeigt sich dieses Verhalten im Abrechnen der Videobetrachtung nach dem Zeigen der mathematischen Definition für eine eingeführte Größe, obwohl im Anschluss noch weitere Hintergrundinformationen z.B. zur Interpretation dieser Größe gegeben werden. Passend zu den laut ausgesprochenen Lösungserklärungen und den zugehörigen Niederschriften besteht für die Mehrheit der Studienteilnehmer das Lösen der Aufgaben in der alleinigen Berechnung der gesuchten Größen und Messunsicherheiten und nicht in der Interpretation der gefundenen Zahlenwerte, wodurch sich auch ihr Verhalten beim Ansehen der Videos erklären lässt. Dadurch unterbleibt eine reflektierte Diskussion über die Aussagekraft der gefundenen Ergebnisse. Diese Erkenntnis bestätigt einen in vielen Praktika bekannten Mangel, wonach die Mehrheit der Studierenden kein Problembewusstsein dafür besitzt, dass die gängigen Rechenmethoden und die zu ihnen gehörenden Interpretationen der Zahlenwerte nur unter bestimmten Voraussetzungen an die Daten korrekt sind [2]. Folglich ist ihnen der Modellcharakter ihrer ganzen Berechnungen vollkommen unbekannt.

Eine Möglichkeit zur Eindämmung dieses Problems wird in einem stärkeren Einbezug des Modellcharakters bei der Aufnahme und Behandlung von Daten in allen Phasen des Experimentierens gesehen. Da es sich dabei aber um einen kritischen Aspekt mit vielen Fallstricken und Widersprüchlichkeiten selbst im theoretischen Fundament der standardmäßig gelehrt konventionellen Fehlerrechnung handelt, bietet diese konventionelle Fehlerrechnung einen ungeeigneten Rahmen zur Lösung des Problems. Dies stellt einen der Gründe dafür dar, warum in Zukunft der „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“ konsequent als Grundlage für die Behandlung von Messdaten und ihren Unsicherheiten im Praktikum verwendet wird. Auf weitere Argumente

für den GUM wird in Abschnitt 3.2 näher eingegangen.

Für die zu produzierende Videoreihe wird folgende Schlussfolgerung gezogen: Um den Bedürfnissen der Studierenden gerecht zu werden, sollen zwei verschiedene Typen von Videos produziert werden. Im ersten Typ sollen kurz und prägnant die Rechenvorschriften zu einer Größe vorgestellt werden, wohingegen im zweiten Videotyp auf die Anwendungsvoraussetzungen und Interpretation einer Größe eingegangen wird. Um der Gefahr eines alleinigen Ansehens des ersten Videotypen durch die Studierenden vorzubeugen, muss durch eine Überarbeitung der Aufgabenstellungen in den Versuchsanleitungen gewährleistet werden, dass zu ihrer Lösung auch Informationen aus dem zweiten Typ von Videos als besonders hilfreich erscheinen.

### 3.2. Implementierung des „Guide to the Expression of Uncertainty in measurement“ (GUM) in das Praktikum

Seitdem Anfang der 1990er Jahre erste Studien erhebliche Mängel im Umgang Studierender mit Messunsicherheiten aufdeckten, bemühte sich die fachdidaktische Forschung auch um eine Klärung der Ursachen für diese Problematik. Neben sicherlich existierenden inadäquaten Vermittlungsmethoden kann ein Hauptgrund im theoretischen Aufbau der traditionell an den meisten Universitäten gelehrt konventionellen Fehlerrechnung selbst gesehen werden, deren zentraler Begriff der Messfehler darstellt. Eine Analyse von Lehliteratur zur Messfehlertheorie zeigt schnell viele Hürden auf, die das Erlernen und Verstehen des Stoffes erheblich erschweren. So finden sich international und interdisziplinär uneinheitliche Notationen von Messfehlern, womit die Interpretation eines Ausdrucks für eine Messgröße und ihre Messunsicherheit stark vom Vorverständnis des Rezipienten oder der gewählten Quelle abhängen kann. Weiterhin führt die Verwendung einer mehrdeutigen und uneinheitlichen Terminologie dazu, dass Theoriekonstrukte in unterschiedlichen Lehrbüchern unter anderen Namen zu finden sind oder einzelne Begriffe unterschiedlich definiert werden. Zudem können durch die Verankerung und Verwendung des Begriffs „Fehler“ bei den Studierenden fachlich inadäquate Alltagsvorstellungen aktiviert werden, die Messfehler mit persönlich verursachten, prinzipiell vermeidbaren Einflüssen gleichsetzen. Abschließend soll noch die bei genauere Betrachtung nicht plausible und inkonsistente Kategorisierung von Fehlern in systematische und zufällige Fehler erwähnt werden. Für eine ausführliche Darstellung der hier nur schlagwortartigen Aufzählung der Mängel der konventionellen Fehlerrechnung sei auf Veröffentlichungen von Heinicke und Allie [2 und 4] verwiesen.

Da die gerade aufgelisteten Probleme auch international seit Mitte der 1970er Jahre Beachtung fanden, wurde in den Folgejahren an einer international

einheitlichen und theoretisch konsistenten Lösung gearbeitet, welche 1993 zur englischen Erstveröffentlichung des „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“, kurz GUM, führte. Mit seiner Ausarbeitung wurde damals eine Arbeitsgruppe der „International Organisation of Standardization“ (ISO) beauftragt, die aus Mitgliedern verschiedener internationaler Normungsinstitute bestand. Die aktuell gültige Fassung des GUM wurde im Jahr 2008 veröffentlicht. Der GUM stellt somit, analog zum SI-Maßeinheitensystem, eine internationale Richtlinie dar, die eine höhere Vergleichbarkeit bei der Angabe und beim Umgang mit Messunsicherheiten innerhalb aller quantitativ arbeitenden Wissenschaften verfolgt [16]. Dabei handelt es sich beim GUM nicht um eine Korrektur der in der konventionellen Fehlerrechnung gefundenen Mängel, sondern vielmehr um eine wissenschaftstheoretische begründete komplette Neuausrichtung. Im Zentrum der Betrachtung stehen nicht mehr die bei einer Messung auftretenden unerwünschten Fehler, sondern der über eine Messgröße vorhandene Wissensstand mit zugehöriger Unsicherheit, der durch jede zusätzliche Messung erweitert wird. Die beim Arbeiten so immer wieder aufs Neue zu beantwortende Frage lautet deswegen nicht mehr: „Wie groß ist der gemachte Fehler auf den Wert?“ sondern: „Mit welcher Sicherheit kann dem Wert vertraut werden?“ Unsicherheiten sind in diesem Bild keine Störungen, sondern nützliche Informationsträger [1]. Die auffälligsten Unterschiede in der Angabe und Behandlung von Messunsicherheiten zwischen dem GUM und der konventionellen Fehlerrechnung sind:

- Die konsequente Vermeidung des Begriffs Fehler im GUM,
- die vom GUM vorgenommene Kategorisierung von Messunsicherheiten in Typ A und Typ B, die die Einteilung in systematische und zufällige Fehler vollständig ersetzt, sowie
- die Angabe einer Wahrscheinlichkeitsdichte (pdf für *probability density function*) zu jeder Messunsicherheit.

Typ A-Messunsicherheiten sind Unsicherheiten, deren Wert durch die statistische Analyse wiederholter Beobachtungen gewonnen werden und deren pdf somit meist durch eine Normalverteilung angenähert werden kann. Typ B-Messunsicherheiten sind im Gegensatz dazu für solche Situationen vorgesehen, in denen keine Mehrfachmessung möglich oder sinnvoll ist. In diesem Fall wird auf Grundlage aller verfügbaren Informationen über die zu erwartende Streuung eine a-priori Verteilung der Messdaten geschätzt [16]. Für ausführlichere Erklärungen sei erneut auf die Veröffentlichungen von Heinicke [1 und 2] und den GUM [15] selber verwiesen. Durch die Arbeitsweise des GUMs ergeben sich zwei didaktisch wertvolle Vorteile: Zum einen rücken die Unterteilung in Messunsicherheiten von Typ A und Typ B sowie die Betrachtung von Wahrscheinlich-

keitsdichtefunktionen wesentlich stärker den Datenmodellierungsprozess in den Vordergrund, wodurch sich Studierende zwangsweise intensiver mit der Genese und der Güte ihrer aufgenommenen Messwerte auseinandersetzen müssen. Zum anderen beugt der Einbezug von pdfs einer inhaltlichen Trennung der Unsicherheiten von den Messwerten vor und betont, dass Unsicherheiten immanenter Bestandteil eines jeden Messergebnisses sind. Außerdem zeigen verschiedene Studien [7 und 17], dass durch eine am GUM orientierte Behandlung von Messunsicherheiten bei Studierenden ein besseres Verständnis von Messunsicherheiten entwickelt wird als bei Verwendung der konventionellen Fehlerrechnung.

Aufgrund der vorgestellten didaktischen Stärken des GUM und der weiter fortschreitenden Verbreitung dieser Norm in Industrie und Wissenschaft wird die Umsetzung seiner Vorgaben für das Physiknebenfachpraktikum als sinnvoll erachtet. Da es sich hierbei aber um eine grundlegende Neuausrichtung im Verständnis von Messprozessen und deren adäquater Beschreibung handelt, wird diese Entscheidung auch Konsequenzen für alle Komponenten des neu ausgearbeiteten Konzepts zur Vermittlung von Messunsicherheiten in Abbildung 3 haben.

#### 4. Zusammenfassung und Ausblick

Der Erwerb von Kompetenzen im Bereich „Auswertung“ von Experimenten ist laut Expertenmeinung das wichtigste Ziel in einem Physikpraktikum für Studierende der Biologie. Um dieses Ziel zu erreichen, ist das Vermitteln von adäquaten Vorstellungen und Methoden zum Umgang mit und zur Interpretation von Messunsicherheiten zwingend notwendig. Jedoch ist aus mehreren Studien bekannt, dass nur wenige Studierende eine ausreichende Kompetenzstufe auf diesem Gebiet erreichen [2, 3 und 6]. Um diesem Missstand zu begegnen, wurde für das Physikpraktikum der Biologen und Biotechnologen an der RWTH Aachen ein neues Konzept erarbeitet, das bestehenden strukturellen Defiziten in physikalischen Praktika entgegenwirken und Studierende beim besseren Verstehen des wichtigen Konzepts der Messunsicherheiten unterstützen soll. Die dazu notwendigen wichtigsten Neuerungen stellen zum einen das Bereitstellen einer eigens produzierten Lehrvideoreihe zum Thema Messunsicherheiten und die konsequente Berücksichtigung des „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“ bei der Gestaltung des Praktikums dar. Wie Studien zeigen, kann sowohl durch den Einsatz von Lehrvideos als auch durch die Berücksichtigung des GUM ein verbessertes Verständnis von Messunsicherheiten und eine Steigerung der Fähigkeiten bei ihrer korrekten Ermittlung und Interpretation erwartet werden [7, 12 und 17].

Im laufenden SS 2015 wurde mit der Überarbeitung des einführenden Praktikumsversuchs zum Umgang

mit Messdaten begonnen. Zudem startet die Produktion der ersten Videos der dritten Generation, deren Effekt und Eignung in einer Pilotstudie im WS 2015/16 geprüft werden soll. Die Durchführung der Hauptstudie zur Nutzung der Lehrvideos und Lernwirksamkeit des neuen Ansatzes zur Vermittlung von Messunsicherheiten ist für das WS 2016/17 angesetzt.

## 5. Literatur

- [1] Heinicke, Susanne; Glomski, Julia; Priemer, Burkhard; Rieß, Falk (2010): Aus Fehlern wird man klug. Über die Relevanz eines adäquaten Verständnisses von „Messfehlern“. In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule, 5, S. 26-33
- [2] Heinicke, Susanne (2012): Aus Fehlern wird man klug. Eine Genetisch-Didaktische Rekonstruktion des „Messfehlers“. Berlin: Logos
- [3] Séré, Marie-Geneviève; Journeaux, Roger; Larcher, Claudine (1993): Learning the statistical analysis of measurement errors. In: International Journal of Science Education, 15, S. 427-438
- [4] Allie, Saalih; Buffler, Andy; Campbell, Bob; Lubben, Fred; Evangelinos, Dimitris; Psillos, Dimitris; Valassiades, Odysseas (2003): Teaching Measurement in the Introductory Physics Laboratory. In: The Physics Teacher, 41, S.23-30
- [5] Schwarz, Irina; Effertz, Christian; Theyßen, Heike; Heinke, Heidrun (2014): Darstellung von Messergebnissen in Physikpraktika - Probleme und Hilfen. In: S. Bernhold (Hrsg.), GDGP-Jahrestagung München 2014, S. 573-575.
- [6] Abbott, David Scot (2003): Assessing student understanding of measurement and uncertainty, Dissertation, North Carolina State University.
- [7] Buffler, Andy; Allie, Saalih (2008): Teaching Measurement and Uncertainty the GUM Way. In: The Physics Teacher, 46, S. 539-544
- [8] Kattmann, Ulrich; Duit, Reinders; Gropengießer, Harald; Komorek, Michael (1997): Das Modell der didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 3(3), S. 3-18
- [9] Schwarz, Irina; Effertz, Christian; Heinke, Heidrun (2013): Untersuchungen zur Nachbereitungungsform „Protokoll“ im Physikpraktikum für Biologiestudierende. In: S. Bernhold (Hrsg.), GDGP-Jahrestagung Hannover 2013, S. 686-688
- [10] Welzel, Manuela; Haller, Kerstin; Bandiera, Milena; Hammelev, Dorte; Koumaras, Panagiotis; Niederrer, Hans; Paulsen, Albert; Ribonault, Karine; von Aufschnaiter, Stefan (1998): Ziele, die Lehrende mit dem Experimentieren in der naturwissenschaftlichen Ausbildung verbinden – Ergebnisse einer europäischen Umfrage. In: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 4(1), S. 29-44,
- [11] Schreiber, Nico; Theyßen, Heike; Schecker, Horst (2009): Experimentelle Kompetenz messen?! In: PhyDid A, Physik und Didaktik in Schule und Hochschule, 3/8 (2009), S. 92-101
- [12] Effertz, Christian; Schwarz, Irina; Lammertz, Ines; Erkelenz, Jan; Heinke, Heidrun (2015): Lernvideos im Physikpraktikum für Biologen – Entwicklung und Evaluation. In: S. Bernhold (Hrsg.), GDGP-Jahrestagung Bremen 2015, S. 423-425
- [13] Kultusministerkonferenz (Hrsg.) (2004): Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss. München: Luchterhand
- [14] Schön, Sandra; Ebner, Martin (2013): Gute Lernvideos...so gelingen Webvideos zum Lernen! Norderstedt: Books on Demand GmbH
- [15] Hellwig, Julia (2012): Messunsicherheiten verstehen. Entwicklung eines normativen Sachstrukturmodells am Beispiel des Unterrichtsfaches Physik. Dissertation, Ruhr-Universität Bochum
- [16] Gemeinsamer Ausschuss für Leitfäden in der Metrologie (Hrsg.) (2008): ISO/IEC Guide 98-3:2008: Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement. Genf: JCGM
- [17] Pillay, Seshini; Buffler, Andy; Lubben, Fred; Allie, Saalih (2008): Effectiveness of a GUM-compliant course for teaching measurement in the introductory physics laboratory. In: European Journal of Physics, 29, S. 647-659