

Entwicklung eines Physikpraktikums für Biologiestudierende – der Umgang mit Messunsicherheiten

Irina Schwarz, Christian Effertz, Heidrun Heinke

RWTH Aachen

schwarz@physik.rwth-aachen.de, effertz@physik.rwth-aachen.de, heinke@physik.rwth-aachen.de

Kurzfassung

An der RWTH Aachen wird das Praktikum für Studierende der Biologie nach dem Prinzip der didaktischen Rekonstruktion überarbeitet. Zur Erfassung der Lernerperspektive wurden die Kenntnisse zur Auswertung physikalischer Messungen von Biologiestudierenden vor und nach dem Praktikum mittels Fragebogen erhoben. Schwerpunkte lagen dabei auf dem Umgang mit Messunsicherheiten und der grafischen Auswertung von Messdaten. Zusätzlich wurden die Praktikumsprotokolle der Studierenden analysiert, um die Anwendung der Kenntnisse im Verlauf des Physikpraktikums zu untersuchen. Die Erkenntnisse fließen in die didaktische Strukturierung des Physikpraktikums für Biologiestudierende ein.

1. Einführung

Praktika sind in vielen Studiengängen an deutschen Hochschulen ein fester Bestandteil der Ausbildung. Als Ergebnis einer europaweiten Studie (Welzel et al. 1998) wurden die Ziele, die Lehrende mit dem experimentellen Arbeiten in Praktika verbinden, ermittelt. Dabei zeigte sich, dass das Verbinden von Theorie und Praxis, der Erwerb experimenteller Fähigkeiten und das Kennenlernen wissenschaftlichen Denkens im Vordergrund stehen.

Für die konkrete Gestaltung von physikalischen Praktika für Studierende spezieller Fachrichtungen müssen die Lernziele genauer festgelegt werden. Dies ist bereits mehrfach demonstriert worden, wie bei der Entwicklung eines Praktikums für Medizinstudierende durch Theyßen (Theyßen 2005) oder eines Grundpraktikums für Physikstudierende durch Neumann (Neumann 2005). In beiden Fällen diente das Modell der didaktischen Rekonstruktion (Kattmann et al. 1997), das in Abbildung 1 illustriert ist, als theoretischer Rahmen für die Praktikumsentwicklung.

Auch im Zuge der hier beschriebenen Untersuchung

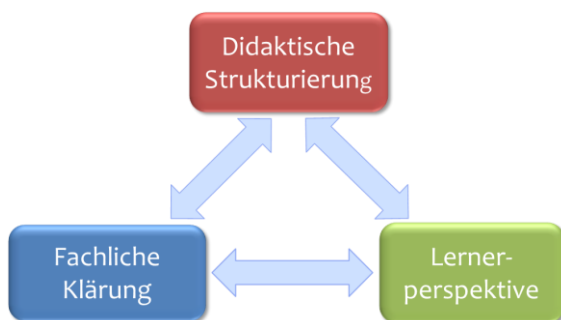


Abb. 1: Modell der didaktischen Rekonstruktion

wird das Prinzip der didaktischen Rekonstruktion verwendet, um das Praktikum für Studierende der Biologie an der RWTH Aachen neu zu konzipieren. Das Gerüst der didaktischen Rekonstruktion besteht gemäß Abbildung 1 aus der fachlichen Klärung, der Erhebung der Lernerperspektive und der didaktischen Strukturierung der Lernumgebung. Die fachliche Klärung ergab, dass Biologie-Dozenten die Aufbereitung und Verarbeitung von Messwerten als sehr wichtiges Lernziel eines Physikpraktikums für Biologiestudierende bewerten (Schwarz et al. 2013). Deshalb bilden die Vorkenntnisse der Studierenden im Bereich der Auswertung von Messdaten einen besonderen Schwerpunkt bei der Erhebung der Lernerperspektive, deren erste Ergebnisse nachfolgend dargestellt werden.

2. Instrumente der Studie

Zur Erfassung der Lernerperspektive wurden im Wintersemester 2012/2013 die schulischen Physik- und Mathematikvorkenntnisse sowie die Kenntnisse zur Auswertung physikalischer Messungen von 95 Biologiestudierenden vor Beginn des Praktikums erhoben. Dabei lag der Schwerpunkt auf Fähigkeiten bei der Auswertung von Messdaten einschließlich des Umgangs mit Messunsicherheiten. Der Fragebogen enthielt deshalb, neben wenigen mathematischen Aufgaben, vor allem Fragen zum Umgang mit Messdaten im Kontext eines typischen Praktikumsversuches in Anlehnung an eine Datenerhebung von Heinicke (Heinicke 2012). Der Fragebogen wurde außer an der RWTH Aachen auch an der TU Dresden eingesetzt. Ein zweiter Fragebogen erfasste die Situation nach dem Praktikum (N = 84) an der RWTH Aachen. Hier wurden zudem zusätzlich die Praktikumsprotokolle der Studierenden analysiert,

um die Anwendung der Kenntnisse im Verlauf des Physikpraktikums näher zu untersuchen.

3. Allgemeine Vorkenntnisse der Studierenden

Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse des Fragebogens zu den physikalischen Vorkenntnissen der Biologie-Studierenden. Dargestellt ist die letzte Klassenstufe, in der die Studierenden in der Schule das Fach Physik belegt haben. Die blauen Säulen symbolisieren die entsprechenden Anteile für die Studierenden der RWTH Aachen im WS 2012/2013. 60% dieser Studierenden haben Physik nur bis zur Klasse 10 besucht. Die restlichen Anteile verteilen sich im Wesentlichen annähernd gleichmäßig auf die Klassenstufe 11 und den Besuch eines Grundkurses Physik bis zum Abitur. Somit ergibt sich für das neu zu konzipierende Physikpraktikum für Biologiestudierende ähnlich wie bei Studierenden der Medizin (Theyßen, 2005) eine große Heterogenität der Vorkenntnisse der Lerner, die bei der Gestaltung des Praktikums Berücksichtigung finden muss.

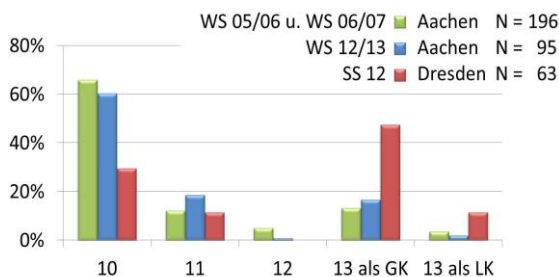


Abb. 2: Schulische Physik-Vorbildung von Biologiestudierenden. Dargestellt ist die letzte Klassenstufe, in der die Studierenden Physik belegt haben.

Zum Vergleich sind in Abbildung 2 zusätzlich die Daten einer analogen Erhebung an der RWTH Aachen aus den Jahren 2005 bis 2007 sowie an der TU Dresden aus dem SS 2012 aufgetragen. Dabei fällt auf, dass die Ausgangssituation der Studierenden an der RWTH Aachen bzgl. ihrer Physikvorkenntnisse über sieben Jahre hinweg weitgehend stabil bleibt. Der Anteil der Studierenden, die nach der 10. Klasse keinen Physikunterricht mehr hatten, sinkt leicht von 66% auf 60%. Gleichzeitig ist der Anteil der Studierenden, die Physik bis zur 13. Klasse belegt hatten, in 7 Jahren von 17% auf 19% gestiegen, für die Oberstufe insgesamt von 34% auf 39% (N = 196 und 95). Die Abbildung 2 zeigt aber auch einen deutlichen regionalen Unterschied in der Belegung des Unterrichtsfachs Physik durch Biologiestudierende. 70% der Studierenden an der TU Dresden haben Physik auch noch in der Oberstufe belegt, davon 59% bis zum Abitur (N = 63). Dies belegt, dass die Lernerperspektive für die konkrete Adressatengruppe eines Praktikums standortspezifisch erhoben werden sollte.

Da aktuell 60% der Biologiestudierenden der RWTH Aachen Physik höchstens bis zur 10. Klasse belegt haben, kann kein breites physikalisches Vor-

wissen auf der Basis des Schulwissens erwartet werden. Jedoch ist im Studienverlaufsplan der Biologiestudierenden in Aachen ein Semester vor dem Physikpraktikum eine vierstündige Physik-Vorlesung, begleitet von einer einstündigen Physik-Übung, vorgesehen, so dass viele physikalische Zusammenhänge den Praktikanten aus der Vorlesung bekannt sein können. Dabei ist die Abstimmung zwischen den Inhalten der Vorlesung und Übung sowie denen des Praktikums aber oft nur teilweise gegeben.

Für die Auswertungen im Praktikum sind auch die mathematischen Grundkenntnisse der Studierenden wichtig. Da Mathematik in der Regel verpflichtend bis zum Abitur belegt werden muss, hatten die Aachener Biologiestudierenden fast vollständig das Unterrichtsfach Mathematik bis zur Jahrgangsstufe 13. 33% dieser Biologie-Studierenden haben dabei Mathematik als Leistungskurs gewählt und 88% davon gut und besser abgeschnitten. Von 64% der Studierenden mit Mathematik-Grundkurs haben 75% gut und besser als letzte Note angegeben.

4. Kenntnisse der Studierenden zur Darstellung von Messergebnissen

4.1 Angabe signifikanter Stellen

Im Fragebogen wurde den Studierenden in Anlehnung an Heinicke (Heinicke 2012) ein Versuch zur Bestimmung der Faradaykonstante, den sie selbst nicht durchgeführt hatten, in Form von Texten und Fotos bzw. Abbildungen vermittelt. Auf Fotos sollten Messwerte abgelesen werden, wie das beispielhaft in Abbildung 3a für das Ablesen einer Strecken-

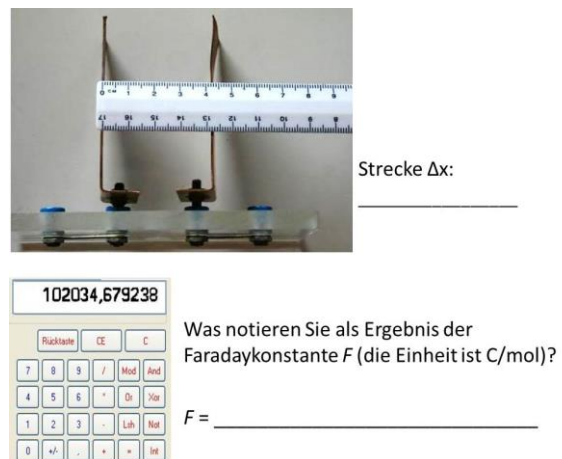


Abb. 3: Items zur begrenzten Genauigkeit von Messwerten und dem daraus berechneten Ergebnis a) oben: als Beispiel eine Längenmessung b) unten: Ablesen des Ergebnisses nach der Berechnung aus mehreren Messungen wie in a).

länge gezeigt wird. Das aus verschiedenen Messwerten errechnete Ergebnis für die Faradaykonstante wurde als Abbildung der Anzeige eines Taschenrechners dargestellt (siehe Abb. 3b). Bei der Frage nach der Angabe der auf dem Taschenrechnerdis-

play dargestellten Zahl als Messergebnis ($F = \dots$), wurde explizit nach der Zahl der Stellen gefragt.

Die Abbildung 4 zeigt als rote Säulen die Ergebnisse zur Anzahl der signifikanten Stellen, welche die Studierenden vor dem Praktikum für die errechnete Faradaykonstante angaben. Man beobachtet ein deutliches Maximum bei acht signifikanten Stellen. Die Bevorzugung dieser Wahl der Ergebnisangabe ist mutmaßlich dadurch verursacht, dass dies mit zwei „Nachkommastellen“ übereinstimmt. Durch die Messgenauigkeiten ist die Angabe aber nicht begründbar und damit nicht korrekt.

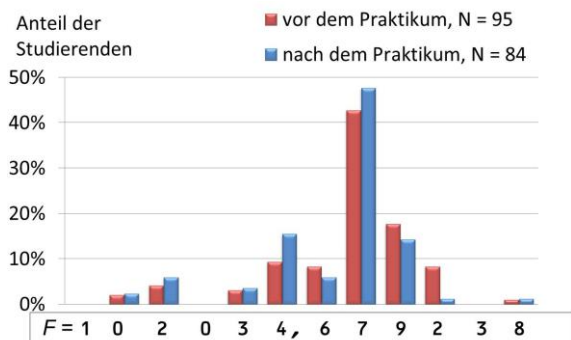


Abb. 4: Anzahl der signifikanten Stellen bei der Angabe der Faradaykonstante vor und nach dem Praktikum

Die blau dargestellten Ergebnisse der Befragung am Ende des Praktikums in Abbildung 4 zeigen, dass sich durch das Praktikum wenig an dem Fehlkonzept der Studierenden bezüglich der zu berücksichtigenden Stellen bei der Angabe eines Messergebnisses geändert hat. Auch nach dem Praktikum werden überwiegend zwei Stellen nach dem Komma angegeben, ohne die gesamte Größe des Messergebnisses und die Messunsicherheiten der primären Messwerte zu berücksichtigen. Das Konzept der signifikanten Stellen bei der Angabe von Messergebnissen ist den Studierenden offensichtlich nicht klar geworden. Dies ist umso bemerkenswerter, als das Praktikum für alle Studierenden mit einem Versuch zur Auswertung von Messdaten startet, da bei den physikalischen Vorkenntnissen der Studierenden bei der Mehrheit der Praktikanten der Umgang mit Messunsicherheiten und gängige Auswertverfahren in der Physik wie die grafische Auswertung nicht als bekannt vorausgesetzt werden können. In dem Einführungsversuch werden unter anderem Messunsicherheiten bei kleinen Handversuchen durch die Studierenden aufgenommen und die adäquate Auswertung intensiv behandelt und geübt. Dies schließt auch die explizite Vermittlung der Zahl der anzugebenden signifikanten Stellen eines Messergebnisses ein. Zudem ist die Angabe von Messergebnissen inhärenter Bestandteil aller Protokolle zu den insgesamt 10 Versuchen, welche die Studierenden im Praktikum absolvieren.

Dass das Präkonzept der Studierenden bezüglich der Genauigkeit der Angabe von Messergebnissen durch

das Praktikum kaum beeinflusst wurde, lässt sich auch durch die Begründungen belegen, welche die Studierenden für die gewählte Anzahl der Stellen bei der Angabe der Faradaykonstante notiert haben. Etwa 1/3 der Befragten hat auch nach dem Praktikum keine Begründung angegeben. Die Begründung durch die Messunsicherheiten der primären Messwerte sank sogar von 22% auf 17%, während für 14% der Studierenden nach dem Praktikum die Größe des Ergebnisses (vorher 5%) ausschlaggebend war.

Abbildung 5 zeigt die Ergebnisse für ein Fragebogen-Item, bei dem die Auswertung einer Messreihe im Mittelpunkt stand. Den Studierenden wurde beschrieben, dass eine Praktikumsgruppe fünfmal unter gleichen Versuchsbedingungen F bestimmt und dabei die in Abbildung 5 dargestellten Resultate erhalten hat. Die Studierenden sollten im offenen Antwortformat notieren, was die fiktive Praktikantengruppe als Ergebnis von F angeben soll. Wie aus Abbildung 5 ersichtlich ist, wählen vor dem Praktikum über 80% der Studierenden den Mittelwert der fünf Einzelresultate, während jeweils unter 10% der Angaben den Mittelwert mit Messunsicherheit bzw.

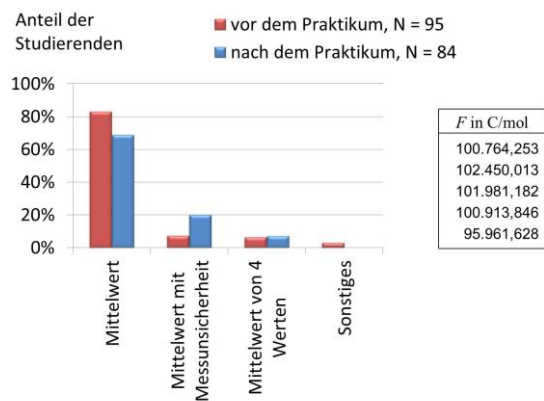


Abb. 5: Auswertung einer Messreihe: Die Gruppe C hat fünfmal unter gleichen Versuchsbedingungen F bestimmt. Was soll sie als Ergebnis von F angeben?

den Ausschluss eines vermeintlichen groben Fehlers (Mittelwert von vier Werten) betreffen. Nach dem Praktikum nimmt die Angabe des Mittelwerts mit Messunsicherheit von vorher 7% auf 20% zu, was als eher bescheidener Zuwachs nach einem ganzen Semester Praktikum zu werten ist.

Auch bei der Analyse der Protokolle, welche die Studierenden während des Semesters erstellt haben, fällt auf, dass nur dann die Messunsicherheiten angegeben werden, wenn die Versuchsanleitung dieses ausdrücklich verlangt. Beispielhaft seien hier die Ergebnisse der Protokollanalyse für die ersten beiden Versuchstage, die auf den Einführungsversuch folgen, erwähnt. In 10 von 25 Protokollen finden sich eine qualitative Fehlerdiskussionen, nur zweimal wurde die Messunsicherheit berechnet, wo nicht explizit dazu aufgefordert wurde. Das heißt die Hälfte der Studierenden hat keine Form von Messunsi-

cherheit betrachtet. Dies lässt vermuten, dass der Sinn und Zweck dieser Angaben überwiegend nicht verstanden ist.

Diese Einschätzung deckt sich mit den Ergebnissen bei Heinicke (Heinicke et al. 2010), die für Physikstudierende im ersten Studienjahr feststellt, dass „die üblichen Routinen der Fehlerbehandlung zwar erlernt, aber in der Tiefe nicht verstanden und hinterfragt werden“.

4.2 Grafische Auswertung von Messwerten

In einem weiteren Fragebogen-Item mit offener Antwort wurden Strategien zur Auswertung grafisch dargestellter Messwerte erfragt. Abbildung 6 zeigt die im Fragebogen-Item enthaltene Grafik.

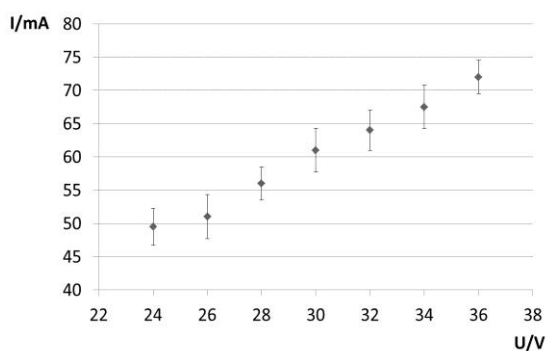


Abb. 6: Grafische Auswertung: Vorgegeben war die Grafik, welche Messdaten für Spannung und Strom für einen Ohmschen Widerstand in einem Stromkreis zeigt. Die Studierenden wurden gefragt, wie sie zur Bestimmung des Widerstandes weiter vorgehen würden.

Bei der Auswertung der Antworten wurde eine deutliche Änderung im Vergleich der vor und nach dem Praktikum erhobenen Daten festgestellt. Vor dem Praktikum wird die grafische Auswertung der Daten eher wenig genannt (unter 20%). Nach dem Praktikum entscheiden sich mehr als 60% der Befragten für eine grafische Auswertung.

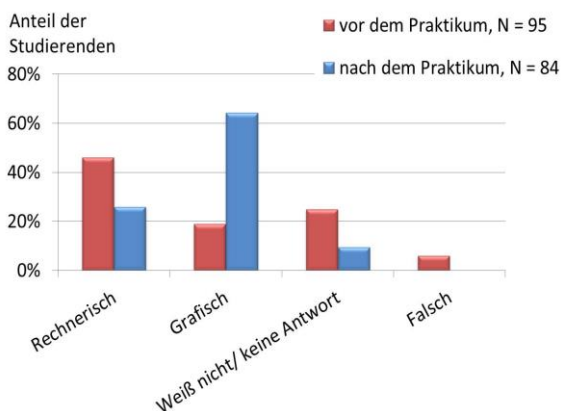


Abb. 7: Die Studierenden entschieden sich nach dem Praktikum deutlich öfter für eine grafische Auswertung bei dem Item von Abbildung 6.

Dies lässt sich mit einer mehrfachen Anwendung dieser Auswertungsform erklären, die außer beim Einführungsversuch zur Auswertung von Messdaten bei weiteren fünf Praktikumsversuchen explizit gefordert wurde. Man kann vermuten, dass hier eine mehrfache Übung hilfreich ist.

5. Selbsteinschätzung der Schwierigkeiten der Studierenden bei der Protokollerstellung

In den Fragebögen am Ende des Praktikums wurden die Studierenden auch um eine Einschätzung der Schwierigkeiten bei der Protokollerstellung gebeten. In der Frage, welcher Teil der Nachbereitung besonders leicht bzw. schwierig war, wurde grob nach den üblichen Teilen eines Protokolls, also „Theorie“, „Aufbau und Durchführung“, „Auswertung“ und „Fazit“ gefragt. Der Bereich „Auswertung“ wurde dann noch mal in „grafische Auswertung“, „rechnerische Auswertung“, „Schreiben der Auswertung“ und „Diskussion der Fehler“ unterteilt. Mehrfachantworten waren möglich.

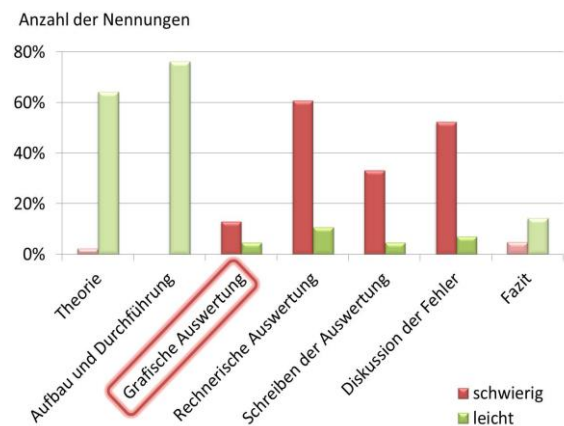


Abb. 8: Beurteilung der Schwierigkeiten beim Erstellen der Nachbereitung (N = 84).

Abbildung 8 zeigt die Übersicht über die Antworten (N = 84, grün - besonders leicht, rot - besonders schwer). Das Formulieren von „Theorie“ und „Versuchsdurchführung“ eines Protokolls wird offenbar aufgrund eines hohen reproduktiven Charakters vorzugsweise als besonders leicht empfunden, während wesentliche Teile der Auswertung wie die rechnerische Auswertung bzw. die Diskussion der Fehler und das Schreiben der Auswertung von jedem zweiten Studierenden als schwierig eingestuft wurden. Dagegen wurde die grafische Auswertung als besonders leicht bzw. besonders schwer bewertet.

6. Fazit und Ausblick

Im Rahmen der didaktischen Rekonstruktion eines Physikpraktikums für Biologiestudierende wurde die Lernerperspektive mit dem Schwerpunkt der Messdatenauswertung und Darstellung von Messergebnissen erhoben. Da der in Anlehnung an Heinicke entwickelte Fragebogen vor und nach dem Prakti-

kum eingesetzt wurde, lassen die Ergebnisse auch Rückschlüsse auf die Effektivität des aktuellen Praktikums zu.

Die Daten zeigen, dass sowohl vor als auch nach dem Praktikum kaum fundierte Kenntnisse zum Umgang mit Messunsicherheiten und der korrekten Darstellung eines Messergebnisses bei den Studierenden vorliegen. Diese Basiskompetenzen stellen aber Voraussetzungen für die korrekte Interpretation von Messdaten im Rahmen ihrer Messungenauigkeiten dar, die bei der fachlichen Klärung von den Dozenten der Biologie als einer der wesentlichen, im Physikpraktikum zu vermittelnden Fähigkeiten benannt wurde. Ein größerer Lernzuwachs zeigte sich bei der Nutzung einer grafischen Auswertung zur Ermittlung von experimentellen Ergebnissen.

Unter Beachtung der Ergebnisse der fachlichen Klärung (Schwarz et al. 2013) und der hier vorgestellten Daten der Erhebung der Lernerperspektive wurden erste Schlussfolgerungen für die didaktische Strukturierung des Physikpraktikums für Biologiestudierende gezogen:

- a) Das Praktikum wird derart umstrukturiert, dass nach dem einführenden Versuch zur Messdatenaufnahme und -auswertung jeweils ein sogenanntes Tutorium und drei thematisch verwandte Versuche zu einem Inhaltsblock zusammengefasst werden. Dabei soll das jeweils einführende Tutorium die inhaltliche Brücke zwischen den allgemeinen Inhalten der Physikvorlesung und den speziellen Anforderungen der Praktikumsversuche schlagen.
- b) Sämtliche Praktikumsanleitungen werden hinsichtlich der Klarheit ihrer Strukturierung und der gegebenen Instruktionen überarbeitet.
- c) In Ref. (Schwarz et al. 2013) war bereits auf ein grundlegendes Problem typischer heutiger Physikpraktika hingewiesen worden: In der Auswertung, die als dritter Kompetenzbereich der experimentellen Kompetenz nach Schreiber et al. betrachtet wird (Schreiber et al. 2009) wenden die Studierenden die meiste Zeit auf, müssen aber i.d.R. ohne Hilfestellung der Betreuer auskommen. Diesem Kompetenzbereich haben aber einerseits die Experten der Biologie die höchste Wichtigkeit unter den Lernzielen eines Physikpraktikums für Biologiestudierende zugeordnet. Andererseits zeigen die oben vorgestellten Ergebnisse, dass für die Interpretation von Messdaten notwendige Basiskompetenzen mit dem aktuellen Praktikum nicht erreicht werden. Aus

diesem Grund werden Hilfen entwickelt, sodass wesentliche Elemente der Auswertung und Darstellung von Messdaten durch die Studierenden kompakt immer wieder nachvollzogen werden können. Die Effektivität solcher Hilfen soll im Praktikum getestet werden.

Die Hilfen sollen später als Online-Versionen auf Handys, Tablets und PC laufen und so für die Studierenden in allen Phasen der Auswertung während des Praktikumsversuches und danach jederzeit verfügbar sein.

7. Literatur

- [1] Welzel, M.; Haller, K.; Bandiera, M.; Hammelev, D.; Kouramas, P.; Niedderer, H.; Paulsen, A.; Robinault, K. & Aufschnaiter, S. v. (1998): Ziele, die Lehrende mit experimentellen Arbeiten in der naturwissenschaftlichen Ausbildung verbinden – Ergebnisse einer europäischen Umfrage. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 4(1), 29-44
- [2] Kattmann, U.; Duit, R.; Gropengießer, H.; Komorek, M. (1997): Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 3(3), 3-18
- [3] Theyßen, H. (1999): Ein Physikpraktikum für Studierende der Medizin. In Niedderer, Fischler (Hrsg.): Studien zum Physiklernen, Bd. 9, Logos Verlag Berlin 1999
- [4] Neumann, K. (2004): Didaktische Rekonstruktion eines physikalischen Praktikums für Physiker. In Niedderer, Fischler (Hrsg.): Studien zum Physiklernen, Bd. 38, Logos Verlag Berlin 2004
- [5] Schwarz, I.; Effertz, C.; Heinke, H. (2013): Untersuchungen zur Nachbereitungsform „Protokoll“ im Physikpraktikum für Biologiestudierende. In S. Bernholt (Hrsg.): GDGP-Jahrestagung in Hannover 2012
- [6] Heinicke, S. (2012): Aus Fehlern wird man klug, Logos Verlag Berlin, 2012
- [7] Heinicke, S.; Glomski, J.; Rieß, F. (2010): Aus Fehlern wird man klug, über die Relevanz eines adäquaten Verständnisses von „Messfehlern“. In: Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule, 5/59 (2010)
- [8] Schreiber, N.; Theyßen H.; Schecker H. (2009): Experimentelle Kompetenz messen?! PhyDid 3/8