

Allgemeine Hinweise zum Praktikum im Modul Physik I für Studierende der Umweltwissenschaften (Basispraktikum) und zur Protokollführung

1 Zur Bedeutung, Planung und Durchführung physikalischer Experimente

Am 23. März 1989 erregte eine Nachricht aus den USA großes Aufsehen in der naturwissenschaftlichen Öffentlichkeit: zwei international anerkannte Wissenschaftler aus dem Bereich der Physikalischen Chemie an der Universität von Utah waren mit der Erklärung vor die Welpresse getreten, ihnen sei die „kalte Kernfusion“ im Reagenzglas gelungen. Was andere Labore auf der Welt trotz Milliardenaufwandes bis dahin nicht erreicht hatten, die kontrollierte Atomkernverschmelzung mit dem Ziel der Energieerzeugung, sollte nun mit Mitteln möglich gewesen sein, die jedem kleinen Labor zur Verfügung stehen.

Rund um den Globus setzten umgehend fieberhafte Aktivitäten ein mit dem Ziel, das beschriebene Experiment nachzumachen. Die beteiligten Wissenschaftler/innen nutzten die internationalen Computernetze, um ihre Messergebnisse auszutauschen, zugehörige theoretische Überlegungen zu diskutieren, zu spekulieren, den Quellen vieler Gerüchte nachzugehen und - leider auch - selber neue Gerüchte in die Welt zu setzen.

Nach einigen Wochen war sich die internationale Fachwelt einig: die Ergebnisse des Reagenzglas-Experiments waren nicht reproduzierbar. Damit war das gesamte Experiment wertlos und mit ihm auch die theoretische Überlegung, die die beiden Amerikaner zur Deutung ihrer Messergebnisse angestellt hatten.

Das geschilderte Beispiel soll die elementarste Anforderung an physikalische Experimente deutlich machen:

Die Ergebnisse eines Experiments haben nur dann wissenschaftliche Bedeutung, wenn eine Wiederholung des Experiments unter gleichen Bedingungen überall auf der Welt zum gleichen Resultat führt.

Damit ein Experiment diesem Anspruch genügt, muss zunächst der Gegenstand des Experiments, d.h. die dem Experiment zugrunde liegende *Fragestellung*, klar und eindeutig beschrieben werden. Bei einigen Experimenten geht es darum zu klären, ob eine Theorie (z.B. die der „kalten Fusion“ oder der Existenz von Gravitationswellen) richtig oder falsch ist. Andere Experimente sollen dazu dienen, den algebraischen Zusammenhang zwischen physikalischen Größen quantitativ zu erfassen (z.B. Galileis Versuche zur Bestimmung des Zusammenhanges zwischen Weg und Zeit beim freien Fall) oder Zahlenwerte für physikalische Größen zu ermitteln (z.B. Bestimmung der Masse eines Moleküls mit einem Massenspektrometer).

Nach erfolgter Formulierung der Fragestellung ist eine sorgfältige *Planung* der Durchführung des Experiments erforderlich. Dazu gehört vor allem die Konzeption eines systematischen Versuchsablaufs, die Auswahl geeigneter Messinstrumente und das Kennenlernen des Verhaltens dieser Instrumente unter den geplanten experimentellen Bedingungen.¹ Anschließend folgt der *Aufbau* des Experiments, die präzise *Beschreibung* der Versuchsanordnung, die *Durchführung* der Messungen und die *Aufzeichnung* der Messdaten sowie der Umgebungsparameter, die die Messergebnisse beeinflussen können. Dabei müssen systematische Fehlerquellen nach bestem Wissen ausgeschlossen und die zufälligen Messfehler quantitativ erfasst werden (siehe Anleitung „*Fehler- und Ausgleichsrechnung*“).

Die quantitative *Auswertung* eines unter solchen Bedingungen durchgeführten Experimentes sollte schließlich eine eindeutige und reproduzierbare Antwort auf die Eingangsfrage geben. Ist das Ergebnis dagegen nicht eindeutig und nicht reproduzierbar, so müssen alle Schritte von der Fragestellung bis zur Auswertung noch einmal überprüft werden. Irgendwo wird ein Fehler vorliegen, der beseitigt werden muss. So kann z.B. ein falsches Messgerät gewählt worden sein, dessen Messgenauigkeit oder Messbe-

¹ Hier haben übrigens die beiden Amerikaner die nötige Sorgfalt fehlen lassen - mit dem Ergebnis, dass sie gemessene Effekte fälschlicherweise dem Einfluss von Neutronen zugeschrieben haben, die tatsächlich durch eine Erwärmung des Untersuchungsobjektes verursacht worden waren.

reich für den erwarteten Effekt gar nicht ausgelegt ist. Oder es hat sich trotz aller Sorgfalt ein systematischer Fehler bei der Messwertaufzeichnung eingeschlichen. Oder es wurde versucht, einen gar nicht existenten Zusammenhang zwischen zwei physikalischen Größen quantitativ zu ermitteln. Ein solches Experiment wird immer zufällig verteilte Ergebnisse liefern. Oder...

2 Die Lernziele im Basispraktikum

Um Experimente in der beschriebenen Weise planen, durchführen und auswerten zu können, bedarf es einiger Erfahrung, die in den verschiedenen aufeinander aufbauenden Praktika im Laufe des Studiums gewonnen werden soll. Dem Basispraktikum kommt dabei die Aufgabe zu, erste Grundlagen des Experimentierens zu vermitteln und zu üben. Nach erfolgreicher Teilnahme am Basispraktikum sollen die Studierenden mit den Grundprinzipien des Experimentierens vertraut sein, also

- wissen, wie mit einem Experiment der quantitative Zusammenhang zwischen physikalischen Größen bestimmt oder der Zahlenwert für eine physikalische Größe ermittelt werden kann,
- ein entsprechendes Experiment beschreiben, planen und durchführen können,
- den Unterschied zwischen direkten und indirekten Messverfahren kennen,
- gängige Messverfahren sowie Funktion, Gebrauch, Verhalten und Genauigkeit wesentlicher Messgeräte kennen,
- Messgeräte überprüfen, justieren und kalibrieren können,
- Messergebnisse sinnvoll darstellen, auswerten, interpretieren und kritisch bewerten können,
- Messunsicherheiten angeben können und mit den Grundlagen der Fehlerrechnung vertraut sein,
- Verfahren zur Anpassung von Ausgleichskurven (Fitkurven) an Messdaten kennen,
- ein Protokoll über die Durchführung eines Experiments führen können,

Darüber hinaus sollen die Studierenden im Praktikum über den Vorlesungsstoff hinaus weitere physikalische Phänomene, Gesetzmäßigkeiten und Methoden kennen lernen, für deren Behandlung in der Vorlesung kein Platz ist. Sie müssen sich also gelegentlich im Rahmen der Praktikumsvorbereitung mit Inhalten auseinandersetzen, die in der Vorlesung bis dahin weder behandelt wurden noch behandelt werden. Deshalb sind die Versuchsanleitungen so gehalten, dass sie mit den üblichen mathematischen und physikalischen Vorkenntnissen der Studierenden in den ersten beiden Semestern verstanden werden können. Wem der Anleitungstext an einigen Stellen zu abstrakt bleibt, dem sind möglicherweise Fotos der Versuchsaufbauten bei der Vorbereitung der Praktika eine Hilfe. Sie finden sich auf den Internetseiten des Basispraktikums². Bei gemeinsamen Themen von Vorlesung und Praktikum wird versucht, beide Veranstaltungen soweit wie möglich zeitlich aufeinander abzustimmen.

3 Durchführung des Praktikums

3.1 Gruppenarbeit

Zu Beginn des Semesters bilden die Studierenden Zweiergruppen (*Teams*), die bis zum Semesterende bestehen bleiben. Innerhalb der Teams muss eine *gemeinsame Vorbereitung* auf das Praktikum stattfinden, gefolgt von einer *gemeinsamen Durchführung* der Versuche, einer *gemeinsamen Auswertung* der Messergebnisse und einer *gemeinsamen* Protokollierung. Für *jeden* Teil des Protokolls sind *beide* Studierende verantwortlich.

3.2 Versuchsvorbereitung

Die Vorbereitung auf einen Versuch muss vor dem Praktikumstermin anhand der Versuchsanleitung und durch Teilnahme am Begleitseminar geschehen. Die Versuchsanleitungen werden zu Beginn des Semesters ausgehändigt. Sie stehen darüber hinaus als PDF-Dateien auf den Internetseiten des Praktikums zur Verfügung. Es genügt möglicherweise nicht immer, nur die Anleitung durchzulesen. Insbesondere bei ernsthaften Verständnisproblemen muss auch die angegebene Literatur sowie die Vorlesungsmitschrift zur Vorbereitung mit herangezogen werden. Es ist auch ratsam und oft sehr hilfreich, sich als Praktikumsgruppe vor und nach dem Praktikumsversuch zu treffen und eine gemeinsame Zeit der Vor- und Nachbereitung zu haben.

Ohne gründliche Vorbereitung ist eine Durchführung der Versuche weder sinnvoll noch möglich.

² <https://uol.de/physik/lehre/physik-praktika/uwi/basis>

In den Praktikumsräumen steht ein Bücherschrank mit einer *Büchersammlung* zur Nutzung durch die Studierenden vor Ort zur Verfügung. Die Bücher werden grundsätzlich nicht ausgeliehen. Sie können während der Öffnungszeiten der Praktikumsräume jedoch jederzeit benutzt werden. Die Sammlung enthält neben der in den Anleitungen angegebenen Literatur weitere Lehrbücher, Formelsammlungen und Tabellenwerke, die für die Auswertung der Versuche hilfreich sind.

Eine gründliche Versuchsvorbereitung schließt die *Vorbereitung von Tabellen* mit ein, in die während des Praktikums die Messergebnisse mit dokumentenechtem Stift eingetragen werden.

Die vorbereiteten Messwerttabellen werden zu Beginn des Praktikums von den BetreuerInnen abgestempelt und müssen später dem Protokoll beigelegt werden.³

Mit der Vorbereitung von Tabellen wird vor allem erreicht, dass man sich bereits vor Beginn der Experimente klar macht, welche Messreihen durchzuführen sind und welche Messgrößen für die Auswertung der Experimente zusätzlich benötigt werden. Außerdem wird bei vorbereiteten Messwerttabellen von vornherein vermieden, dass Messergebnisse während des Versuchs zunächst auf Schmierzetteln notiert werden, um anschließend ins „Reine“ übertragen zu werden. Ein solches Vorgehen ist erstens unökonomisch, schafft zweitens die Gefahr von Übertragungsfehlern und führt möglicherweise auch zur Veruschung, Messdaten nachträglich zu „bereinigen“. Neben der Vorbereitung von Messwerttabellen bietet es sich ferner an, relevante Informationen zur Versuchsdurchführung und wichtige physikalische Formeln und Beziehungen im Skript zu markieren und/oder diese den Messwerttabellen beizufügen.

Ökonomisches Arbeiten bei der Vorbereitung, der Durchführung und der Auswertung der Praktikumsversuche setzt auch voraus, dass die Studierenden über folgende *Hilfsmittel* verfügen:

Versuchsanleitung, Lehrbuch, mathematische Formelsammlung, Taschenrechner mit technisch-wissenschaftlichen Funktionen, Zugang zu Computern (ist für alle Studierenden im Basispraktikum im CIP-Raum⁴ des Instituts für Physik gewährleistet).

3.3 Versuchsdurchführung

Während der *Versuchsdurchführung* müssen die Messergebnisse direkt in die vorbereiteten Messwerttabellen eingetragen werden. Die Ablesegenauigkeit der Messgeräte muss für die später zu erfolgende Fehleranalyse ebenfalls notiert werden. Schließlich müssen all die Gerätespezifikationen und sonstigen Parameter (z. B. Umgebungstemperatur) notiert werden, die für eine vollständige Versuchsdokumentation und -auswertung im Protokoll erforderlich sind.

Der Umfang der Versuche wurde so gewählt, dass auch die Studierenden, die bereits experimentelle Erfahrungen mitbringen, nicht schon nach der Hälfte der vorgesehenen Zeit mit ihren Experimenten fertig sind. Das kann zur Folge haben, dass Studierende ohne jegliche experimentelle Erfahrung, insbesondere während der ersten Versuchstermine, aus zeitlichen Gründen nicht immer alle Versuchsteile werden durchführen können. In diesen Fällen gilt:

*Bei Zeitknappheit lieber einiges gründlich, als alles oberflächlich durchführen!
Nutzen Sie das Open Lab, um Ihre experimentellen Fähigkeiten eigenständig zu vertiefen!*

4 Protokollführung

4.1 Bedeutung des Protokolls

Das Versuchsprotokoll hat die Aufgabe, das gesamte Experiment von der Fragestellung über die Durchführung bis hin zur Auswertung dokumentarisch festzuhalten. Es muss hinsichtlich Inhalt und Form eine *Einheit* bilden. Es muss von einer fremden, mit der Materie insgesamt vertrauten Person gelesen und verstanden werden können und es muss diese Person prinzipiell in die Lage versetzen, ohne Einholen zusätzlicher Informationen das gleiche Experiment mit den gleichen Geräten jederzeit nachmachen zu können.

Protokolle werden nicht nur als „lästige Pflicht“ im Rahmen von Praktika geführt. Das Führen und Archivieren eines Protokollbuchs gehört vielmehr unabdingbar zum Alltag des wissenschaftlichen Arbeitens.

³ Für Versuchsteile, in denen Messdaten direkt in Origin-Tabellen eingetragen werden sollen, sind keine Tabellen erforderlich.

⁴ <https://uol.de/physik/cip>

Im Zweifelsfall muss ein Protokollbuch als Beleg für erzielte Messergebnisse dienen. Die Fälschungsskandale in der Wissenschaft aus der Vergangenheit, z.B. der Fall des Physikers JAN HENDRIK SCHÖN aus dem Jahre 2002⁵, haben Wissenschaftsorganisationen wie die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) dazu veranlasst, nochmals mit Nachdruck an die Verpflichtung zur Führung von Protokollbüchern und deren Bedeutung zu erinnern⁶.

4.2 Inhalt und Aufbau eines Protokolls

Ein Praktikumsprotokoll muss

- in *übersichtlicher Gliederung*,
 - mit *nummerierten Kapitelüberschriften*,
 - auf *nummerierten Seiten* enthalten:
1. *Namen, Praktikumsgruppe* und *Datum* der Versuchsdurchführung.
 2. *Titel* des Versuchs.
 3. Ein *Inhaltsverzeichnis* ist nicht unbedingt erforderlich.
 4. *Kurze Darstellung des Versuchsgegenstandes* in einer *Einleitung*: was ist Ziel des Versuches, was soll gemessen werden? Dieser Teil des Protokolls sollte nicht länger als $\frac{1}{4}$ Seite sein.
Das Versuchsprotokoll wird in der Regel in der 3. Person und im Präsens verfasst!⁷

Daran anschließend folgt für jeden Versuchsteil eine Protokollierung gemäß der Punkte 5 - 10:

5. Eine *kurze Nennung der Aufgabenstellung* und *Beschreibung der Versuchsdurchführung* mit einer Darstellung des *Versuchsaufbaus* in Form einer *Prinzipskizze* mit kurzer Erläuterung. Skizzen können z. B. auch aus der Versuchsanleitung oder aus anderen Quellen übernommen werden. In diesem Fall muss die Quelle korrekt zitiert werden, s. Kap. 4.3. Skizzen werden wie andere Grafiken nummeriert und beschriftet (siehe Punkt 8). Beispiel:
„Abb. xx: Anordnung zur Messung der Oberflächenspannung mit der Blasendruckmethode.“
6. Bei Bedarf Dokumentation derjenigen äußeren *Versuchsbedingungen*, die die Versuchsergebnisse beeinflussen können (z.B. Temperatur bei den Versuchen zur Oberflächenspannung und Viskosität) sowie Dokumentation möglicher *Fehlerquellen* (z.B. Ablesegenauigkeit von Messgeräten).
7. *Tabellarische Darstellung* der Ergebnisse von Messreihen. Bei der Spalten- bzw. Zeilenbeschriftung muss die Form „*physikalische Größe / Einheit der Größe*“ gewählt werden, also z.B. „*U / V*“ für eine Spannung, „*I / A*“ für einen Strom, „*t / s*“ für die Zeit usw. Zur Begründung für diese Notation siehe Kap. 4.3, Punkt 0. Tabellen müssen innerhalb des Protokolls fortlaufend *nummeriert* und mit kurzen erläuternden *Beschriftungen* versehen werden, aus denen hervorgeht, was in der Tabelle dargestellt ist. Im Gegensatz zu Abbildungen erfolgt die *Beschriftung* der Tabelle oberhalb der Tabelle. Hier ein Beispiel:

Tab. xx: Spannung U und Strom I als Funktion der Eintauchtiefe d von Kupferelektroden in einen Elektrolyten.

d / m $\pm 10^{-3} \text{ m}$	U / V $\pm 10^{-2} \text{ V}$	I / mA $\pm 10^{-1} \text{ mA}$
0,050	1,74	14,8
0,045	1,77	14,2
0,040	1,81	13,4
0,035	1,85	12,6
0,030	1,89	11,8
0,025	1,94	10,8
0,020	2,01	9,8

Zu jeder Tabelle muss ein Verweis im laufenden Text erfolgen, z.B. in der Form: „Die Messdaten finden sich in Tab. xx“.

8. *Grafische Darstellung* der Ergebnisse von Messreihen. Jede Grafik muss neben einer fortlaufenden *Nummer* eine kurze erläuternde *Beschriftung* enthalten, aus der hervorgeht, was in der Grafik darge-

⁵ Siehe z.B. S. Jorda, PHYSIK JOURNAL 1.11 (2002) 7-8.

⁶ DFG: Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis, Bonn, 2019 (korrigierte Version 1.1, 2021).

(https://www.dfg.de/download/pdf/foerderung/rechtliche_rahmenbedingungen/gute_wissenschaftliche_praxis/kodex_gwp.pdf).

⁷ Bitte vermeiden Sie Beschreibungen in der „ich“ oder „wir“ Form.

stellt ist. Die unabhängige Variable, d.h. die vorgegebene Größe (d in der o. a. Mustertabelle), wird auf der Abszisse dargestellt, die abhängige Größe auf der Ordinate. Die Skaleneinteilung und die Lage der Achsen-Nullpunkte muss so gewählt werden, dass der interessierende Kurvenverlauf gut zu erkennen ist. Die Koordinatenachsen müssen vollständig beschriftet sein. Bei der Achsenbeschriftung gilt das Gleiche wie bei der Spalten- und Zeilenbeschriftung von Tabellen: sie muss in der Form "physikalische Größe / Einheit der Größe" erfolgen. Falls gefordert, müssen *Ausgleichskurven* und / oder *Fehlerbalken* eingezeichnet sein. Auch hierzu ein Beispiel:

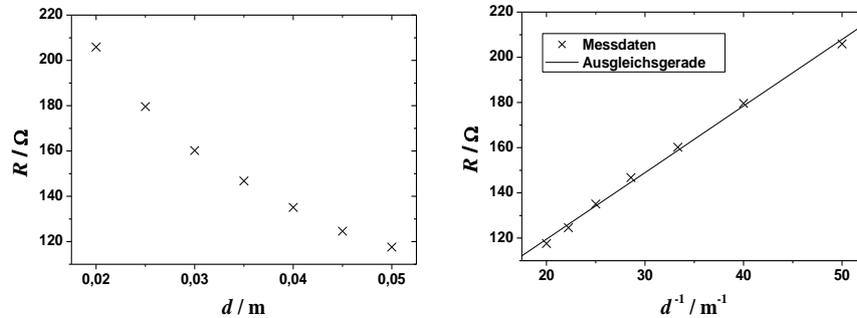


Abb. xx: Ohmscher Widerstand R eines Elektrolyten als Funktion der Elektroden-Eintauchtiefe d . Links R über d , rechts linearisierte Darstellung R über $1/d$.

Die Abstände zwischen den Werten der unabhängigen Variablen müssen so gewählt sein, dass der Verlauf der Messwerte der abhängigen Variablen gut zu erkennen ist. Sie sollen also dort besonders dicht liegen, wo sich im Diagramm „etwas tut“. Das folgende Beispiel der Amplitudenresonanzkurve eines gedämpften harmonischen Oszillators verdeutlicht dies. In der Umgebung der Eigenkreisfrequenz von $\omega_0 \approx 4,5$ Hz wurden die Abstände der unabhängigen Variablen ω_1 deutlich kleiner gewählt als außerhalb dieses Bereichs, so dass der Verlauf der Amplitude x_0 in der Umgebung von ω_0 gut zu erkennen ist:

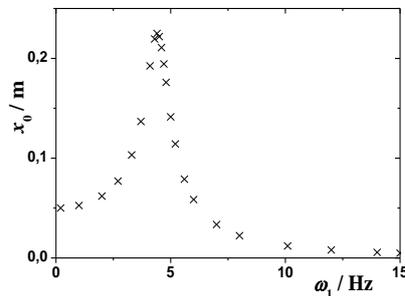


Abb. xx: Amplitudenresonanzkurve eines gedämpften harmonischen Oszillators.

Die Messpunkte dürfen in der Regel *nicht* miteinander verbunden werden. Eine gerade Verbindung würde z.B. einen linearen Zusammenhang zwischen den dargestellten Größen in dem von zwei Messwerten begrenzten Bereich suggerieren. Sollte eine Verbindung nötig sein, um den Verlauf der Messwerte besser erkennen zu können, muss die Verbindungslinie an den Messwerten mit sichtbarer Lücke unterteilt werden:

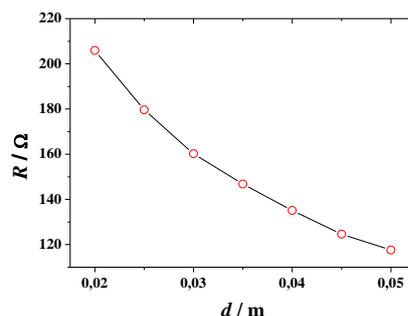


Abb. xx: Ohmscher Widerstand R eines Elektrolyten als Funktion der Elektroden-Eintauchtiefe d .

Zu jeder Grafik muss ein Verweis im laufenden Text erfolgen, z.B. in der Form: „Abb. xx zeigt die grafische Darstellung der Messdaten“.

9. *Berechnung* von Zahlenwerten für die zu messenden Größen. Für jeden Zahlenwert muss der *Fehler* (die Messunsicherheit) angegeben werden, der entweder *berechnet* oder sinnvoll *abgeschätzt* wird. Einzelheiten dazu und zur Rundung von berechneten Zahlenwerten finden sich in der Anleitung zur „*Fehler- und Ausgleichsrechnung*“.
10. *Interpretation und Bewertung der Versuchsergebnisse* anhand eines *Vergleichs* mit den nach der Theorie erwarteten Ergebnissen bzw. mit Literaturwerten. Dabei ist eine realistische und kritische Bewertung der eigenen Messergebnisse deutlich wichtiger als ein möglichst genaues Treffen eines Zielwertes oder eine möglichst genaue Reproduktion von Literaturwerten.

Auf eine Auflistung der benutzten Geräte kann verzichtet werden, da sie in der Anleitung unter „Zubehör“ bei den jeweiligen Versuchen aufgeführt sind. Es reicht daher ein entsprechender Verweis.

4.3 Regeln bei der Abfassung von Protokollen

Bei der Abfassung des Protokolls muss man sich von vornherein daran gewöhnen, bestimmte Normen und Gepflogenheiten einzuhalten (siehe z.B. 0), wie sie später im Studium auch für die Erstellung von Examensarbeiten oder anderen wissenschaftlichen Texten üblich sind:

1. Eine physikalische Größe G wird als Produkt aus Zahlenwert $\{G\}$ mal Einheit $[G]$ dieser Größe angegeben, also

$$(1) \quad G = \{G\} \times [G]$$

Beispiel: eine elektrische Spannung U hat einen Wert von 5 V, es ist also $U = 5 \text{ V}$, mit $\{U\} = 5$ und $[U] = \text{V}$.

Wegen der in Gl. (1) festgelegten Notation werden Tabellenspalten und -zeilen sowie die Achsen von Grafiken in der Form „ $G / [G]$ “ beschriftet, also z.B. „ U / V “, „ d / m “ usw. Der Quotient $G / [G]$ ergibt nämlich gerade den Zahlenwert $\{G\}$, der in die Tabelle eingetragen oder an die Teilstriche der Achse geschrieben wird, wie z.B. 5 10 15 20 usw. Angaben der Art „ $U [\text{V}]$ “ oder „ $d [\text{m}]$ “ sind formal falsch!⁸

2. Als Einheit $[G]$ einer physikalischen Größe G muss immer die durch das Internationale Einheitensystem (SI: *Système Internationale d'Unités*) vorgegebene Einheit verwendet werden. Neben den sieben SI-Basiseinheiten für die Länge (Meter, m), die Masse (Kilogramm, kg), die Zeit (Sekunde, s), die Stromstärke (Ampere, A), die Temperatur (Kelvin, K), die Stoffmenge (Mol, mol) und die Lichtstärke (Candela, cd) gibt es abgeleitete SI-Einheiten, die sich *immer* als Produkt der Basiseinheiten darstellen lassen, also

$$[G] = \text{m}^a \text{kg}^b \text{s}^c \text{A}^d \text{K}^e \text{mol}^f \text{cd}^g$$

mit den zu bestimmenden Exponenten a, b, c, d, e, f und g . Für viele abgeleitete Einheiten sind eigene Namen gebräuchlich, wie z.B. das Pascal (Pa) für den Druck ($\text{Pa} = \text{kg m}^{-1} \text{s}^{-2}$), das Volt (V) für die elektrische Spannung ($\text{V} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-3} \text{A}^{-1}$) oder das Hertz (Hz) für die Frequenz ($\text{Hz} = \text{s}^{-1}$). Die in Deutschland gesetzlich zugelassenen Namen abgeleiteter Einheiten finden sich in 0.

3. Für die meisten physikalischen Größen gibt es etablierte Symbole bzw. Formelzeichen (z.B. F für die Kraft, ω für die Kreisfrequenz, U für die elektrische Spannung usw.), von denen man nicht ohne wichtigen Grund abweichen sollte. Eine Liste dieser Symbole enthält 7/.
4. Die Symbole physikalischer Größen, also z.B. F , ω und U werden *kursiv* gesetzt, die zugehörigen Einheiten, im Beispiel N, Hz und V, dagegen gerade. Man schreibt also z.B. F / N , ω / Hz und U / V . Zwischen den Zahlenwert der physikalischen Größe und die Einheit wird ein Leerzeichen gesetzt, also z.B. $F = 1,5 \text{ N}$ oder $U = 5 \text{ V}$.

⁸ In Fachzeitschriften werden z.T. andere Arten der Beschriftung verlangt. Leider sind die Regeln nicht einheitlich. So wird z.B. in NATURE, PHYSICAL REVIEW LETTERS und im PHYSIK JOURNAL jeweils eine andere Notation verwendet.

5. Im Text verwendete Symbole physikalischer Größen müssen *grundsätzlich* definiert werden. Es muss also z. B. heißen: „...das elektrische Feld E ist durch die Spannung U und den Abstand d gegeben; es gilt: $E = U/d$ “.
6. Bei der Anfertigung von Schaltskizzen sollte man sich an die Vorgaben des Deutschen Instituts für Normen (DIN) halten, die auch in den Versuchsanleitungen angewendet werden. Kopien der entsprechenden DIN-Normen ⁹ befinden sich im Bücherschrank.
7. Für eine Reihe von Berechnungen benötigt man die Zahlenwerte physikalischer Konstanten. Derzeitige Bestwerte dieser Konstanten findet man in 0, eine Auswahl davon auf der hinteren Umschlagseite dieses Skriptes.
8. Zu *jeder* Tabelle und *jeder* Abbildung *muss* es einen Hinweis im laufenden Text des Protokolls geben (siehe Hinweise unter Punkt 7 und 8 in Kap. 4.2). Beispiele: „Den prinzipiellen Versuchsaufbau zeigt Abb. 2“ oder „Die Messwerte sind in Tab. 3 aufgelistet und in Abb. 6 grafisch dargestellt“.
9. Werden Grafiken, Tabellen oder Textpassagen aus fremden Quellen (einschließlich Internetseiten!) in das Protokoll übernommen, so muss die Quelle korrekt zitiert werden. Wird beispielsweise eine Abbildung aus dem Skript zum Modul Basispraktikum Physik, Teil I übernommen, muss am Ende der Abbildungsbeschriftung der Hinweis „(aus /1/)“ erfolgen. Am Ende des Protokolls wird dann angefügt:

Literatur

/1/ Skript zum Praktikum im Modul Physik I für Studierende der Umweltwissenschaften (Basispraktikum), CvO Universität Oldenburg, Institut für Physik, April 2022

Bei Verwendung von Quellen aus dem Internet muss die Internetadresse in Form der URL (Uniform Resource Locator) und das Datum der Seitenabfrage angegeben werden¹⁰, also z.B.:

/2/ Physikalisch Technische Bundesanstalt (PTB): „Fragen zur Zeit“, URL:
<http://www.ptb.de/cms/themenrundgaenge/wegweiser/fragenzurzeit.html>, Stand: 24.09.2014

Protokolle, die Grafiken, Tabellen oder Textpassagen aus fremden Quellen enthalten, ohne dass die Quellen zitiert werden, sind Fälschungen und werden als solche gewertet. In diesem Zusammenhang wird nachdrücklich auf die Publikation „Gute wissenschaftliche Praxis“ der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg hingewiesen¹¹ sowie auf einen Artikel in der ZEIT¹².

Beim Einsatz von *Textverarbeitungssoftware* für die Erstellung eines Protokolls gilt als oberster Grundsatz:

ein Protokoll lebt in erster Linie von seinem Inhalt und seiner Struktur und nicht von seiner äußeren Form. Handschriftliche Protokolle oder mit Hand eingesetzte Formeln sind, solange sie lesbar bleiben, prinzipiell ausreichend, aber es macht Sinn sich schon frühzeitig an das Schreiben mit einem Computer unter Verwendung gängiger Software zu gewöhnen. Insbesondere für das gemeinsame Bearbeiten eines Protokolls gibt es kostenlose Online-Möglichkeiten¹³, oder auch unter Stud.IP Tools, wie OnlyOffice und Co-Writer, die sinnvoll innerhalb einer Gruppenarbeit eingesetzt werden können.

Zu guter Letzt noch eine eiserne Regel zum Thema Protokolle:

Der jeweils nächste Versuch kann erst durchgeführt werden, wenn das Protokoll vom vorherigen Versuch abgegeben wurde.

⁹ Z.B. DIN EN 60617: „Grafische Symbole für Schaltpläne“; siehe auch Text „Zum Aufbau elektrischer Schaltungen...“ in diesem Skript.

¹⁰ Für *alle* URL-Angaben in diesem Skript gilt das Datum 18.03.2024 wenn nicht anders vermerkt.

¹¹ http://www.uni-oldenburg.de/fileadmin/user_upload/physik/ag/physikpraktika/download/Faltblatt_GWP.pdf

¹² „Suchmaschine gegen den Gedankenklau – Universitäten rüsten sich gegen Plagiatoren - und verhängen schwere Strafen.“ DIE ZEIT, 08.02.07; <https://www.zeit.de/2007/07/B-Plagiatskontrolle>.

¹³ Als Beispiel sei hier das „Cloud Computing“ erwähnt oder die Verwendung von Plattformen wie „Google Docs“, die ein gemeinsames Bearbeiten eines Dokumentes wesentlich erleichtern (siehe auch <https://www.google.de/intl/de/docs/about/>)

5 Literatur

Jede Versuchsanleitung enthält eine eigene Literaturliste, in der die Bücher aufgelistet sind, die für die Vorbereitung auf die einzelnen Versuche besonders nützlich sind. Zum generellen Gebrauch im Praktikum sind folgende Bücher empfehlenswert (siehe auch <https://uol.de/physik/praktika/literatur>)¹⁴:

- /1/ Eichler, H. J., Kronfeldt, H.-D., Sahn, J.: „Das Neue Physikalische Grundpraktikum“, Springer-Verlag, Berlin u.a.
- /2/ Geschke, D. [Hrsg.]: „Physikalisches Praktikum“, Teubner-Verlag, Stuttgart u.a.
- /3/ Walcher, W.: „Praktikum der Physik“, Teubner-Verlag, Stuttgart
- /4/ Gerthsen, C. u.a.: „Physik“, Springer-Verlag, Berlin u.a.
- /5/ Stöcker, H.: „Taschenbuch der Physik“, Harri Deutsch, Frankfurt (steht auf den Computern im Basispraktikum auch als HTML-Version zur Verfügung)
- /6/ Bronstein, I. N., Semendjajew, K. A.; Musiol, G.; Mühling, H.: „Taschenbuch der Mathematik“, Verlag Harri Deutsch, Frankfurt (steht auf den Computern im Basispraktikum auch als HTML-Version zur Verfügung)

Als Tabellenwerke zum Nachschlagen von Zahlenwerten physikalischer Größen sind besonders geeignet:

- /7/ Rumble, J. R. [Hrsg.]: „CRC Handbook of Chemistry and Physics“, 99th Ed. CRC Press 2018
- /8/ Madelung, O. [Hrsg.]: „Landolt-Börnstein: Zahlenwerte und Funktionen aus Naturwissenschaften und Technik“, Springer-Verlag, Berlin u.a.

Derzeitige Bestwerte physikalischer Konstanten (Auswahl s. hintere Umschlagseite dieses Skriptes) findet man in:

- /9/ NIST (National Institute of Standards and Technology): Standard reference database: "CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants: 2018":
<https://physics.nist.gov/cuu/Constants/index.html> und https://physics.nist.gov/cuu/pdf/wall_2018.pdf

Hinweise zur Abfassung wissenschaftlicher Manuskripte sowie eine Zusammenstellung der SI-Basiseinheiten und daraus abgeleiteter Einheiten enthält die Broschüre des „Bureau International des Poids et Mesures (BIPM)“¹⁵, abrufbar unter: <https://www.bipm.org/en/publications/si-brochure>

- /10/ Bureau International des Poids et Mesures: „The International System of Units (SI)“, 9th Edition, Paris, 2019.

Eine Zusammenstellung der in Deutschland gesetzlich zugelassen Einheiten findet sich in:

- /11/ Physikalisch Technische Bundesanstalt (PTB) [Hrg.]: „Die gesetzlichen Einheiten in Deutschland“, 2. Auflage, 2019.
https://www.ptb.de/cms/fileadmin/internet/presse_aktuelles/broschueren/intern_einheitensystem/Die_gesetzlichen_Einheiten.pdf, aufgerufen 22.03.2022

¹⁴ Wegen z. T. häufiger Neuauflagen wird an dieser Stelle auf eine Angabe des Erscheinungsjahres verzichtet. Die Erscheinungsdaten der aktuellen Ausgaben finden sich auf der genannten Internetseite.

¹⁵ Das BIPM wurde am 20.05.1875 von 17 Staaten ins Leben gerufen, mittlerweile sind ihm 51 Staaten beigetreten. Aufgabe des Büros ist die „weltweite Vereinheitlichung von Messungen“. Hauptsitz des Büros ist Paris, die offizielle Sprache des BIPM ist Französisch.