



UNIVERSITÄT REGENSBURG

Fakultät für Physik

Anleitung zum Anfängerpraktikum A1

0 - Vorversuch

28. überarbeitete Auflage 2022

Dr. Stephan Giglberger

Prof. Dr. Jascha Repp

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Lernziele	4
1.2	Vorkenntnisse	6
1.3	Literaturliste im A1-Praktikum	6
2	Grundlagen	7
2.1	Verminderung von Messunsicherheiten	8
2.2	Geeignete grafische Darstellungen	9
3	Fragen zum Versuch	9
4	Aufgabenstellung	10

Vorversuch

1 Einleitung

Die wichtigsten inhaltlichen und formellen Anforderungen an das Praktikumsheft finden Sie auch in den **Bewertungsrichtlinien** auf der Homepage des Praktikums.

Für Sicherheitsaspekte und Betrachtungen von Messunsicherheiten („Fehlerrechnung“, siehe unten) gibt es eine **verpflichtende**, einmalige Veranstaltung.

Darüber hinaus werden optionale, praktikumsbegleitende **Vorlesungen** angeboten, deren Besuch dringend empfohlen wird.

Für die erfolgreiche Teilnahme am Praktikum sollten Sie bitte folgende Punkte beachten:

- Jede Person führt ein eigenes gebundenes Praktikumsheft (siehe unten)
- Die Versuchsvorbereitung (einleitender Text, Skizze, vollständig bearbeitete Vorbereitungsaufgaben) sind von jeder Person **schriftlich** im Praktikumsheft festzuhalten. Die Versuchsvorbereitung wird zu Beginn des Nachmittags abgegeben und von den Betreuenden kontrolliert. Während des Praktikums findet eine mündliche Aussprache über den physikalischen Inhalt statt.
- Pro Gruppe wird ein Originalprotokoll angefertigt und am Ende des Tages vorgezeigt. Die Person einer Gruppe, die nicht das Original im Heft hat, klebt im Anschluss eine Kopie des Protokolls in das eigene Heft.
- Das Versuchsprotokoll soll während der Praktikumszeit fertiggestellt werden. In Ausnahmefällen kann das Protokoll zuhause fertig gestellt werden.
- Bei korrekter Vorbereitung und Durchführung erhalten die Teilnehmenden eine Unterschrift in der Testkarte. Diese Unterschrift ist Voraussetzung für die Durchführung eines neuen Versuchs.

Laborbuch - Praktikumsheft

Es wird Sie vielleicht überraschen, aber auch in hochmodernen Laboren und Experimenten wird ein Laborbuch geführt. Hier werden die wichtigsten Informationen und Daten so ausführlich doku-

mentiert, dass auch eine andere Person jederzeit einen vollständigen Überblick bekommen und die Messungen exakt gleich wiederholen könnte. Aktuell gibt es sogar den Trend, dass parallel zu wissenschaftlichen Publikation die dazugehörigen Laborbücher digital öffentlich zugänglich gemacht werden müssen.

Das **Praktikumshft** sollte Folgendes enthalten:

- Überschrift und Datum,
- eine halbe Seite Prosatext zum Versuch, der Physik des Experiments und ggf. Anwendungsbeispielen,
- eine beschriftete Skizze (z.B. des Aufbaus),
- die gelösten Vorbereitungsaufgaben (vollständig, nicht skizziert),
- das vollständige und saubere Protokoll des Messvorgangs, ggf. mit Anmerkungen,
- die Auswertung der Daten inklusive einer Betrachtung der Messunsicherheiten, sowie
- eine Bewertung der eigenen Ergebnisse.

1.1 Lernziele

In der Physik werden die grundlegenden Phänomene der Natur untersucht und durch Modelle beschrieben. Um dies in die Tat umzusetzen, bedarf es der Beobachtung und quantitativen Erfassung dieser Phänomene in **Experimenten**, der Analyse der experimentellen Resultate und schließlich der Beschreibung der Natur in **theoretischen** Modellen. Diese Modelle können durch Vergleich mit neuen experimentellen Resultaten bestätigt oder widerlegt werden. Ein physikalisches Experiment so durchzuführen, dass es schlussendlich geeignet ist, die grundlegenden Phänomene der Natur quantitativ zu erfassen, ist wesentlich komplexer als es zunächst den Anschein haben mag. In den Vorlesungen lernen Sie einige wichtige Experimente kennen – Sie aber dazu zu befähigen, später eigene Experimente durchzuführen, sollten idealerweise die Praktika ermöglichen.

Messunsicherheiten

Eines der grundlegendsten Erkenntnisse in der Experimentalphysik ist, dass jedes Experiment eine bestimmte Genauigkeit aufweist und dass man diese Genauigkeit quantifizieren muss. Um physikalische Modelle zu entwickeln und insbesondere zu testen, muss man zwingend wissen, welche Genauigkeit die experimentell beobachteten Werte haben. Eine solche Genauigkeit spezifiziert man quantitativ als **Messunsicherheit** (engl. uncertainty) oder auch **Fehler**, wobei der letztgenannte Begriff missverständlich ist und daher im Folgenden eher vermieden wird. Da die Messunsicherheit von so grundlegender Bedeutung ist, wird sie im Grundpraktikum eine wesentliche Rolle spielen.

Wie mache ich mir eine physikalische Messgröße überhaupt zugänglich?

Manche Größen kann man relativ direkt messen, wie zum Beispiel eine Strecke oder ein Zeitintervall. Andere Größen, wie zum Beispiel eine Geschwindigkeit bedürfen einer kombinierten Messung einer Strecke und eines Zeitintervalls. Die Geschwindigkeit muss dann berechnet werden. Eine Masse bestimmt man scheinbar direkt mittels einer Waage – in Wahrheit misst man jedoch die Gewichtskraft der Masse. Wie oben erwähnt, werden Messunsicherheiten eine wichtige Rolle spielen, und wie Sie an diesen Beispielen sehen, muss jede primäre Messgröße mit ihrer Messunsicherheit bestimmt werden. Für Größen, wie der Geschwindigkeit, die aus anderen Messgrößen resultieren, benötigen wir das Handwerkszeug, wie sich die **Messunsicherheiten** auf diese **fortpflanzen**.

Wissenschaftliche Vorgehensweise

Die meisten modernen Experimente sind weit komplizierter als nur eine Geschwindigkeit zu messen. Ein Experiment muss daher so konzipiert werden, dass es die wesentlichen Gesetzmäßigkeiten überhaupt erfasst. Dazu gibt es keine allgemeingültige Vorgehensweise, sodass dies nicht allgemein vermittelt werden kann. Aber es gibt allgemeine Prinzipien, wie zum Beispiel, das Herstellen von immer gleichen Start- oder Randbedingungen und die Überprüfung der Reproduzierbarkeit. In komplexen Experimenten gibt es in der Regel mehr als einen Parameter, der variiert werden kann. Sie werden lernen, dass es häufig sinnvoll ist, in jedem experimentellen Durchlauf einen Parameter als Laufvariable zu betrachten und alle anderen als Parameter zu variieren. Die Aussagekraft eines Experimentes kann wesentlich durch die Wahl der verwendeten Parametersätze beeinflusst werden, und je weiter der Variationsbereich der Parameter im Experiment, desto aussagekräftiger ist meist das Resultat.

Grafische Auswertung von Messergebnissen

Moderne Experimente werden heutzutage fast ausschließlich mit Hilfe von geeigneter Software ausgewertet. Um jedoch zu verstehen, wie die zugrundeliegenden Prinzipien und Funktionsweisen einer Messdatenauswertung sind, ist es aus unserer Sicht unabdingbar, dass Sie im Praktikum zunächst lernen, Messergebnisse grafisch darzustellen und auszuwerten. Ein wichtiger Aspekt dabei ist, nicht-linearer Zusammenhänge in eine lineare Darstellung zu bringen. Ein weiterer ist die grafische Fehlerfortpflanzung sowie das Erkennen von systematischen Fehlern.

Spezifische Lernziele für diesen Vorversuch

In diesem Vorversuch soll mittels eines Musterprotokolls die Auswertung von experimentellen Daten, die Fehlerrechnung sowie eine geeignete graphische Darstellung geübt werden. Für den Vorversuch sind die Messdaten bereits in einer Tabelle vorgegeben. Lediglich ein ergänzender Messwert soll

selbst der Liste hinzugefügt werden. Aus diesen Daten sollen Sie die Erdbeschleunigung g bestimmen.

1.2 Vorkenntnisse

In den beiden ersten Semestern folgen die Inhalte der Praktika idealerweise den Inhalten der Vorlesungen, sodass die physikalischen Grundlagen zum großen Teil aus den Vorlesungen bekannt sind und nicht vollständig selbständig erarbeitet werden müssen. Mit fortschreitender Studiendauer wird erwartet, dass Sie sich die physikalischen Inhalte des Praktikums selbständig erarbeiten können. Für diesen Vorversuch benötigen Sie keine weiteren Vorkenntnisse.

1.3 Literaturliste im A1-Praktikum

Die folgenden Bücher sind alle als ebooks an der Universität Regensburg verfügbar.

1. Lehrbücher

- a) UC 100 Experimentalphysik, Bd. 1. Mechanik, Schwingungen, Wellen | Wolfgang Pfeiler, 2016
<https://www.regensburger-katalog.de/s/ubr/de/2/1035/BV043897031>
 - sehr anschaulich, kurz und übersichtlich
 - Messgenauigkeit und Messfehler (Kap. 1.3) - A1V0
 - Pendel (Kap. A1.3) - A1V1
 - Stoßprozesse (Kap. A2) - A1V2
 - Schwingungen und Wellen (Kap. 5) - A1V3
 - Drehimpuls und Drehmoment (Kap. 2.2.2) - A1V4
- b) UC 127 Pohls Einführung in die Physik, Bd. 1. Mechanik, Akustik und Wärmelehre | Robert Wichard Pohl, 2009
<https://www.regensburger-katalog.de/s/ubr/de/2/1035/BV035152396>
 - klassisches Lehrbuch
 - ausführlich, mit Beispielen
 - 74 Videofilme auf DVD zum Buch
 - Aufgabensammlung zum Üben
- c) UC 127 Pohls Einführung in die Physik, Bd. 2. Elektrizitätslehre und Optik | Robert Wichard Pohl, 2010
<https://www.regensburger-katalog.de/s/ubr/de/2/1035/BV036540085>

- klassisches Lehrbuch
- ausführlich, mit Beispielen
- 74 Videofilme auf DVD zum Buch
- Aufgabensammlung zum Üben

d) UC 156 Gerthsen Physik | Dieter Meschede, 2010

<https://www.regensburger-katalog.de/s/ubr/de/2/1035/BV036704703>

- das Standardwerk der Experimentalphysik
- gute Abbildungen, übersichtlich, gut strukturiert

2. Repetitorium / Nachschlagewerk

a) UC 142 Kurzes Lehrbuch der Physik | Herbert A. Stuart, 2009

<https://www.regensburger-katalog.de/s/ubr/de/2/1035/BV035962821>

- Kurzübersicht mit Übungsaufgaben
- z.B. als Repetitorium oder zum Üben

3. Speziell für das Praktikum

a) UC 400 Das neue physikalische Grundpraktikum | Hans-Joachim Eichler, 2006

<https://www.regensburger-katalog.de/s/ubr/de/2/1035/BV022264864>

- Physik als Erfahrungswissenschaft
- Meßverfahren und Messgeräte
- Methodik wissenschaftlicher experimenteller Arbeit
- ausführliche Kapitel zur Auswertung und Protokollführung
- ausführliche Kapitel zu Messunsicherheit und Statistik
- sehr übersichtlich gestaltet
- viele gute Illustrationen

b) UC 400 Physikalisches Praktikum | Wolfgang Schenk, 2014

<https://www.regensburger-katalog.de/s/ubr/de/2/1035/BV041472693>

- Sammlung der wichtigsten Inhalte der Experimentalphysik

2 Grundlagen

Die physikalischen Grundlagen zu diesem Versuch sollten bereits aus Schule und Vorlesungen bekannt sein. Wegen der besonderen Form dieser Anleitung mit einem Musterprotokoll, ist eine kurze

Herleitung in Abschnitt 4 zu finden. Im Folgenden wird statt auf die physikalischen Grundlagen auf zwei grundlegende Techniken in den Praktika hingewiesen.

2.1 Verminderung von Messunsicherheiten

Wie eingangs erwähnt ist jede Messung mit einer Messunsicherheit verbunden. Je präziser eine Messung, desto wertvoller ist das Ergebnis zum Beispiel für die Entwicklung und Überprüfung geeigneter Modelle. Eine wesentliche Aufgabe bei der Konzipierung von Experimenten ist daher die Verminderung von Messunsicherheiten.

Es sei an dieser Stelle beispielhaft erwähnt, dass der sogenannte gyromagnetischer Faktor des Elektrons auf 14 Dezimalstellen genau gemessen wurde. Im Praktikum eine Genauigkeit von ein paar wenigen Stellen zu erreichen, ist bereits sehr schwierig. Der gyromagnetischer Faktor des Elektrons ist außerdem aus historischen Gründen ein gutes Beispiel für die Wichtigkeit der Verminderung von Messunsicherheiten, da quantenelektrodynamische Korrekturen nur ca. 0,1% seines Wertes ausmachen. Demnach kann nur eine Messung, die eine wesentlich kleinere Messunsicherheit als 0,1% zulässt, diese quantenelektrodynamischen Korrekturen überhaupt erfassen.

Die Verminderung von Messunsicherheiten muss an das jeweilige Experiment und die Messgröße angepasst sein und es gibt kein Patentrezept dazu. Allerdings gibt es ein paar einfache allgemeingültige Überlegungen.

- Da bei jeder Messung eine absolute Unsicherheit auftritt, wird die relative Messunsicherheit verringert, wenn man die Messgrößen generell groß wählt. Beim Fadenpendel empfiehlt es sich daher zum Beispiel, den Faden im Längenbereich von ~ 1 Meter zu wählen und nicht von wenigen Zentimetern. Zur Messung der Periodendauer wird man nicht mehrere einzelne Schwingungen messen, sondern zum Beispiel die Zeit ermitteln, in der das Pendel 10 mal schwingt.
- Bei Längenmessungen muss man stets überlegen, welche Länge in die Gleichung eingeht. Hier ist dies zum Beispiel der Abstand zwischen Drehpunkt des Fadenpendels und dem Angriffspunkt der Gewichtskraft, D. h. dem Schwerpunkt der Masse. Dieser Abstand entspricht damit nicht – wie hier vereinfacht formuliert – der Fadenlänge.
- Oftmals kann man Start- und Endpunkte von Abständen und Zeitintervallen im Rahmen frei wählen. Beim Fadenpendel könnte man zum Beispiel für die Periodendauer Start- und Endpunkt wahlweise in den Nulldurchgang oder in die Extremalauslenkung legen. Die Messunsicherheit unterscheidet sich jedoch erheblich für diese beiden Möglichkeiten. Überlegen Sie, welche Variante präziser ist.

2.2 Geeignete grafische Darstellungen

Eine grafische Darstellung der abhängigen Größe als Funktion der unabhängigen Variable ist vor allem dazu geeignet, die Koeffizienten grafisch zu bestimmen. Bei einem linearen Zusammenhang, wie zum Beispiel der Zusammenhang zwischen Ort und Zeit bei einer gleichförmigen Bewegung, kann beispielsweise die Geschwindigkeit als Steigung abgelesen werden – inklusive der dazugehörigen, experimentellen Unsicherheit.

Auch unabhängig von der grafischen Darstellung gibt es für lineare Zusammenhänge die mathematische Methode der linearen Regression, die es erlaubt, die am besten zu den experimentellen Werten passende Steigung zu bestimmen – auch ggf. unter Berücksichtigung individuell unterschiedlicher Messunsicherheiten für jeden einzelnen Messwert.

Es ist dabei erstaunlich, wie präzise man mit dem bloßen Auge eine Ausgleichsgerade ermitteln kann. Im Gegensatz zu einer mathematischen Ermittlung der Steigung sieht man bei der grafischen Analyse sofort, wie groß die Abweichungen sind. Auch mögliche systematische Fehler fallen in einer grafischen Analyse leichter auf.

Viele physikalische Zusammenhänge folgend jedoch nicht einem linearen Zusammenhang und man kann nur ungenügend eine Aussage über die Qualität einer Kurvenanpassung mit einer Parabel oder Exponentialfunktion treffen. Um für die grafische Auftragung dennoch einen linearen Zusammenhang zu erreichen, gibt es mehrere Möglichkeiten:

- Ist der funktionale Zusammenhang bekannt, so trägt man die unabhängige Variable in dieser entsprechenden Abhängigkeit auf. Im vorliegenden Fall des Fadenpendels mit der Beziehung $l = gT^2/4\pi^2$ kann man beispielsweise l gegen T^2 auftragen, um aus der Steigung g zu bestimmen.
- Entsprechendes gilt bei einem logarithmischen oder exponentiellen funktionalen Zusammenhang, wobei man die Linearisierung durch einfachlogarithmische Auftragung erreicht.
- Bei einem physikalischen Gesetz in der Form einer Potenzfunktion $f(x) = ax^b$ mit unbekanntem (und möglicherweise nicht ganzzahligem) Exponenten b erhält man durch doppeltlogarithmische Auftragung einen linearen Zusammenhang gemäß $\log(f(x)) = a + b\log(x)$ mit der Steigung b

3 Fragen zum Versuch

1. Sie sitzen mit Stoppuhr und Lineal im Biergarten und wollen überprüfen, ob der Zerfall des Bierschaums tatsächlich exponentiell von der Zeit t abhängt, d.h. für die Schaumhöhe h gilt $h \propto e^{-kt}$. Was müssen Sie wie und in welchem Papier auftragen, um eine Gerade der Steigung $-k$ zu erhalten und so die exponentielle Abhängigkeit in t zu bestätigen?

2. Sie haben zwei Magnete und messen die Kraft F , mit der sie sich abstoßen, in Abhängigkeit vom Abstand x der Magnete. Sie wissen aus dem Physikunterricht, dass $F \propto x^n$, wobei der Exponent n zunächst unbekannt sein soll. Was müssen Sie wie auftragen, um eine Gerade zu erhalten, und wie bestimmen daraus Sie n ?
3. Sie wollen den Impuls Ihres Autos bei $v = 50$ km/h bestimmen. Sie wissen, dass Ihr Tachometer eine Genauigkeit von $\Delta v/v = 7\%$ und Ihr Auto eine Gesamtmasse $m = 1040$ kg hat, wobei Sie hierfür eine Unsicherheit von $\Delta m = 80$ kg schätzen (Benzinmenge, Zuladung).

Berechnen Sie den Impuls $p = m \cdot v$ mit Angabe der Unsicherheit (Δp und $\Delta p/p$).

4. Nach langem Rechnen haben Sie mit Ihrem Taschenrechner die nachfolgenden Ergebnisse erhalten. Runden Sie die Ergebnisse richtig.

(2,36 ± 0,16) m

(21,7342 ± 0,13254) s

(72,814 ± 3,821) N

(0,00236 ± 0,0002) km

(3218,1 ± 93,247) W

4 Aufgabenstellung

Musterprotokoll

Skizze und Herleitung:

Der Aufbau besteht aus einer kleinen Masse m , die an einem dünnen Faden von variabler Länge l aufgehängt ist. Bei geringer Auslenkung zeigt das Pendel harmonische Schwingungen. Ist das Fadenpendel um den Winkel φ ausgelenkt, so kann die auf die Masse m wirkende Gewichtskraft \vec{G} vom Betrag $G = mg$ in eine radial wirkende Kraft \vec{F}_r und eine tangential wirkende Kraft \vec{F}_t zerlegt werden. \vec{F}_r wirkt in Richtung des Fadens und führt daher nicht zu einer Beschleunigung der Masse. \vec{F}_t hingegen führt zu einer Beschleunigung gemäß $\vec{F}_t = m\vec{a}$. Die Kräftezerlegung ergibt $F_t = G \sin(\varphi) = mg \sin(\varphi)$, wobei sich $\varphi = s/l$ aus der Auslenkungsstrecke s und der Fadenlänge l ergibt. Für kleine Winkel gilt in guter Näherung $\sin(\varphi) \simeq \varphi$ und somit

$$a = \frac{ds}{dt} \simeq \frac{g}{l}s.$$

Diese Differentialgleichung wird durch den Ansatz

$$s = s_0 \cos(\omega t)$$

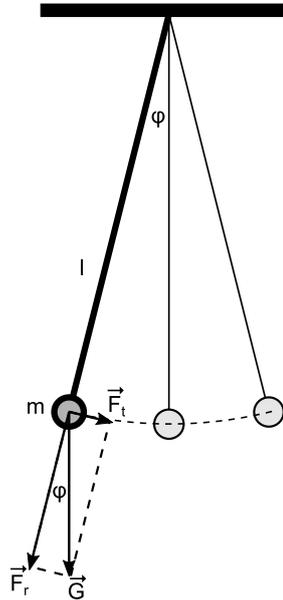


Abbildung 1: Schematischer Versuchsaufbau

gelöst, wobei die Kreisfrequenz $\omega = \sqrt{g/l}$ und die Periodendauer $T = 2\pi\sqrt{l/g}$ betragen.

Messung:

Die Dauer einer Schwingung T wurde für unterschiedliche Fadenlängen l je dreimal gemessen.

Länge l [cm]	Zeit T_1 [s]	Zeit T_2 [s]	Zeit T_3 [s]
20	0,76	0,84	0,92
40	1,18	1,34	1,33
60	1,52	1,63	1,51
80	1,86	1,71	1,77
100	2,12	2,02	1,99
?	?	?	?

Wie genau können Sie mit einer Stoppuhr wohl messen? Ist eine Genauigkeit von $\pm 0,1$ s realistisch?

Wie genau können Sie die Länge des Pendels bestimmen?

Auswertung:

Die erwartete Abhängigkeit der Schwingungsdauer bei einem Pendel lautet

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \quad (1)$$

Da die Erdbeschleunigung g bestimmt werden soll, lösen wir nach g auf:

$$g = 4\pi^2 \frac{l}{T^2} \quad (2)$$

Führen Sie die Auswertung fort, indem Sie die Messwerte in geeigneter Darstellung grafisch auftragen und daraus grafisch die Erdbeschleunigung g ermitteln. Hinweise dazu, welche Größen hier aufgetragen werden sollten, finden Sie in Abschnitt 2.2.

Berechnen Sie aus den Messwerten der Schwingungsdauer zuerst deren Mittelwert \bar{T} und den Fehler ΔT . Addieren Sie zum Fehler ΔT den systematischen Fehler der manuellen Zeitmessung und ermitteln dann den relativen Fehler.

Um in Ihrem Graphen später auch Fehlerbalken einzeichnen zu können, sollten Sie jetzt den Mittelwert quadrieren und entsprechend der Regeln zur Fehlerfortpflanzung den relativen und absoluten Fehler von T^2 berechnen. Berücksichtigen Sie auch den Fehler Δl der Längenmessung. Nun können Sie die Werte in ein Diagramm einzeichnen.

Zeichnen Sie nun die mittlere, maximale und minimale Steigung ein und bestimmen daraus ein mittleres, maximales und minimales g . Beachten Sie dabei, dass Sie möglichst große Steigungsdreiecke wählen. Geben Sie als Ergebnis den Mittelwert von g mit absolutem und relativem Fehler an. Vergessen Sie nicht, bei der Darstellung des Ergebnisses richtig zu runden.

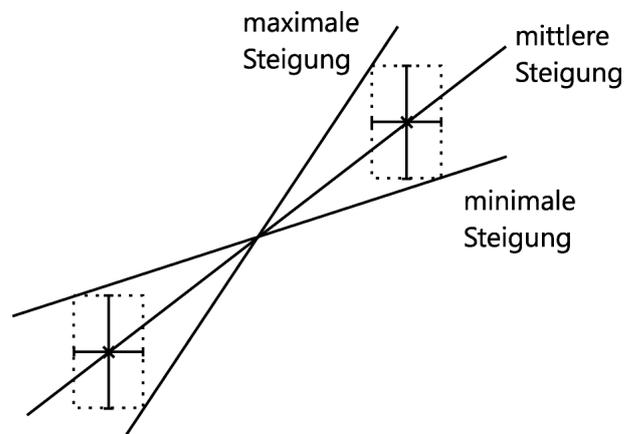


Abbildung 2: Skizze zum Einzeichnen der Extremalgeraden