



UNIVERSITÄT    R E G E N S B U R G

Naturwissenschaftliche Fakultät II - **Physik**

Anleitung zum Physikalischen Praktikum  
Computational Science

Einleitung und Vorversuch

1. Auflage 2012  
**Dr. Stephan Giglberger**

# Inhaltsverzeichnis

<b>0</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
0.1	Formalia . . . . .	3
0.2	Versuchsvorbereitung . . . . .	4
0.3	Versuchsdurchführung . . . . .	4
0.4	Literaturempfehlungen . . . . .	4
0.5	Fehlerrechnung . . . . .	6
0.5.1	Unterscheidung der Fehler . . . . .	7
0.5.2	Fehlerfortpflanzung . . . . .	8
0.6	Graphische Messwert-Darstellungen und Auswertungen . . . . .	10
0.6.1	Lineare Gesetze . . . . .	10
0.6.2	Nichtlineare Gesetze . . . . .	12
0.6.3	Logarithmische Gesetze . . . . .	13
0.6.4	Potenzgesetze . . . . .	13
0.7	Bewertungsrichtlinien . . . . .	14
0.8	Vorversuch Mechanik: Bestimmung der Erdbeschleunigung $g$ mit einem Pendel . . .	15
0.8.1	Aufgaben zur Vorbereitung . . . . .	15
0.8.2	Versuchsdurchführung . . . . .	16
0.9	Vorversuch Elektrodynamik: . . . . .	18
0.9.1	Grundlagen . . . . .	18
0.9.2	Verständnisfragen und Vorversuch . . . . .	21
0.9.3	Versuchsdurchführung . . . . .	22

# 0 Einleitung

## **Liebe Teilnehmerinnen und Teilnehmer des Physikpraktikums für Computational Science,**

das vor Ihnen liegende Praktikum beinhaltet physikalische Experimente aus den Bereichen der Klassischen Mechanik und der Elektrodynamik. Sehr viele Inhalte sollten Ihnen bereits aus der Schulzeit oder aus den Vorlesungen gut bekannt sein, einiges werden Sie sich im Vorfeld selbst erarbeiten müssen. Bitte teilen Sie sich hierfür Ihre Zeit sinnvoll ein: die Versuche sind unter Berücksichtigung des Modulkatalogs so konzipiert, dass Sie incl. Durchführung durchschnittlich etwa 15 Stunden pro Versuch benötigen.

Zunächst muss allerdings das elementare „Handwerkszeug“ erlernt werden: Messverfahren, Messmethoden, Fehlerbetrachtung, Bewertung der Ergebnisse ...

## **0.1 Formalia**

Bitte beachten Sie folgende Punkte, die für ein erfolgreiches Absolvieren des Praktikums nötig sind:

1. die Versuche werden in Zweiergruppen durchgeführt
2. JedeR StudentIn führt ein eigenes, gebundenes Praktikumsheft (kein Ordnersystem). In diesem Heft wird die Versuchsvorbereitung und die Durchführung (Protokoll) schriftlich festgehalten.
3. die Versuchsvorbereitung erfolgt schriftlich im eigenen Heft, Vorbereitungsaufgaben sind gelöst zu Beginn des Versuchstages vorzuzeigen.
4. die Protokollierung des Versuches, die Auswertung und ggfs. grafische Darstellung der Ergebnisse erfolgt am Versuchstag selbst. Hierbei reicht es, das nur ein Praktikumpartner verschriftlicht, der andere klebt anschließend eine Kopie des Protokolls in sein Heft.
5. Sowohl Vorbereitung als auch Durchführung werden von den Praktikumsbetreuern bewertet und mit Unterschrift abgezeichnet.
6. Wenn Sie alle Unterschriften auf Ihrer Testatkarte haben, gilt das Praktikum als bestanden. Ein Übernahme von Teilleistungen in ein anderes Semester ist nicht möglich.

Pro Versuch steht entsprechend der Leistungspunkte im Durchschnitt eine Arbeitszeit von etwa 15 Stunden zur Verfügung. Dieses Zeitäquivalent soll sich in der Versuchsvorbereitung, der Ausarbeitung der schriftlichen Vorbereitung und der Protokolle widerspiegeln.

Im vorliegenden Praktikum werden Messprotokoll und Auswertung am Versuchstag selbst durchgeführt, so dass sich die Bewertung der äußeren Form stärker auf den Vorbereitungsteil bezieht. Bei Unterschreitung der Mindestanforderungen (Rechtschreibung, Grammatik, Satzbau, Ausdruck, Fehlerrechnung) wird das Protokoll unbewertet zur Korrektur zurückgegeben.

## **0.2 Versuchsvorbereitung**

Die Versuchsvorbereitung besteht aus einer inhaltlichen Vorbereitung (ggfs. müssen Sie sich anhand der Literaturangaben in das Thema einarbeiten bzw. wiederholen), einer kurzen schriftlichen Beschreibung des Ziels des Versuches, einer Beschreibung der geplanten Vorgehensweise und des Versuchsaufbaus (ca. 1/3 Seite), ggfs. ergänzt durch eine Skizze.

Die Fragen zur Vorbereitung sollen mit wenigen Stichworten angerissen, dann ausführlich beantwortet werden. Die Rechnungen sollen ausführlich und nachvollziehbar sein.

## **0.3 Versuchsdurchführung**

Es hat sich bewährt, dass ein Partner die Messwerte abliest und dem Protokollanten diktiert. Es steht Ihnen frei, sich darin jederzeit abzuwechseln.

Das Protokoll besteht aus einer Skizze, aus der die relevanten Größen hervorgehen, der Messwerttabelle, den verwendeten Formeln sowie den notwendigen Rechnungen (immer mit physikalischen Einheiten!). Ein besonderes Augenmerk wird dabei auf die Fehlerrechnung gelegt.

Sofern die Messauswertung grafisch erfolgt, wird ausliegendes Millimeterpapier (kann auch auf der Homepage der Praktika heruntergeladen werden) verwendet und anschließend in das Heft eingeklebt. Je nach Problemstellung ist auch einfach- oder doppeltlogarithmisches Papier zu verwenden. Alternativ kann selbstverständlich eine computergestützte Auswertung erfolgen.

## **0.4 Literaturempfehlungen**

1. Allgemeine Lehrbücher Mechanik
  - a) Dransfeld, Kienle, Vonach: Physik I (84/UC 174, D 764)
  - b) Gerthsen, Physik (84/UC 156, G 384)
  - c) Tipler, Physik (84/C 194, T 595)
  - d) Demtröder, Experimentalphysik 1 (84/UC 194, D 389)

- e) Berkeley Physik Kurs, Bd. 1 (84/UC 162, B 512 D 4)
- f) Feynman: Physik Bd. 1 (84/UC 163, F 435 D 4)
- g) Alonso-Finn: Fundamental University Physics, Bd. 1 (84/UC 167, A 454) oder deutsche Kurzfassung: Physik (84/UC 170, A 454 D 4)
- h) Orear: Fundamental Physics (84/UC 161, O 66 E 5)
- i) Pohl: Mechanik ... (84/UC 127, P 748)
- j) Bergmann - Schäfer: Lehrbuch der Experimentalphysik Bd. 1 (11. Auflage) (84/UC 143, B 499(11))
- k) Kohlrausch: Praktische Physik, Bd. 1 (84/UC 100, K 79)

## 2. Allgemeine Lehrbücher Elektronik

- a) Dransfeld, Kienle: Physik II (84/UC 174 D 764-2)
- b) Tipler: Physik (84/UC 194 T 595)
- c) Gerthsen: Physik (84/UC 156 G 384 (19))
- d) Berkeley Physik Kurs 2 (84/UC 162 B 512 D4-2)
- e) Lüscher: Experimentalphysik Band II (84/UC L 948)
- f) Bergmann-Schäfer: Experimentalphysik Band II (84/UC 143 B 499-2)
- g) Walcher: Praktikum der Physik (84/UC 400 W 154)
- h) Moeller et al.: Grundlagen der Elektrotechnik (84/UH 4000 M 693)
- i) Brophy: Basic electronics for scientists (84/ZN 3000 B 873)
- j) Bronstein-Semendjajew: Taschenbuch der Mathematik (84/SH 500 B 869)

## 3. Lehrbücher speziell für das Praktikum:

- a) Walcher: Praktikum der Physik (84/UC 400, W 154)
- b) W. H. Westphal : Physikalisches Praktikum (84/UC 400, W 537)
- c) Berkeley Physics Kurs, Bd. 6 (84/UC 162, B 512 D 4)
- d) Topping: **Fehlerrechnung** (84/UX 1100 T 675)

## 4. Enzyklopädien und Lexika

- a) Landolt - Börnstein (ausführliches Tabellenwerk) (84/UC 506)
- b) Handbuch der Physik (Flügge) (84/UC 550)
- c) Lexika und allgemeine Nachschlagwerke (84/UB 1001 - 1005)
- d) Mathematische Tafelwerke und Formelsammlungen (84/SH 500)

## 0.5 Fehlerrechnung

Das Ergebnis jeder Messung einer physikalischen Observablen ist die Angabe einer physikalischen Größe, die ein quantitatives Merkmal eines Körpers oder eines Vorgangs beschreibt. Sie besteht aus einem Zahlenwert (z.B. 1,3) und einer Einheit (z.B. m).

Alle physikalischen Einheiten gehen zurück auf das **Système International d'Unités** und werden daher kurz SI-Einheiten genannt:

Basisgröße	Größensymbol	Einheit	Einheitenzeichen
Länge	$l$	Meter	m
Masse	$m$	Kilogramm	kg
Zeit	$t$	Sekunde	s
Stromstärke	$I$	Ampere	A
Temperatur	$T$	Kelvin	K
Stoffmenge	$n$	Mol	mol
Lichtstärke	$I_v$	Candela	cd

Bei der Ermittlung der Größe einer Observablen treten immer Fehler auf, sie lassen sich auf zwei Ursachen zurückführen:

### 1. Systematische Fehler

entstehen z.B. durch fehlerhafte Eichung (Beispiel: alle Skalenteile eines Maßstabs haben zu große Abstände).

Kennzeichen: Fehler hat „Schlagseite“

### 2. Statistische Fehler

entstehen durch zufällige Störungen beim Meßvorgang (Beispiel: unruhige Hand beim Anlegen des Maßstabs, Wechselwirkung der Umgebung mit dem gemessenen Prozess)

Kennzeichen: Fehler ist „zufällig“ zu groß oder zu klein, d.h. bei einer ausreichend häufigen Wiederholung der Messung hebt sich der Fehler zu Null auf.

Abhilfe gegen auftretende Fehler:

- genaue Analyse der Meßmethode, der Versuchsanordnung und der verwendeten Geräte
- arithmetischer Mittelwert identischer Messungen
- wiederholte Bestimmung des Wertes bei konstanten Bedingungen

### 0.5.1 Unterscheidung der Fehler

#### Absoluter Fehler

Bei der Messung einer Größe  $x$  wird stets ein Fehler  $\Delta x$  auftreten, um den sich Messwert und tatsächlicher Wert unterscheiden. So kann z.B. mit einem üblichen Lineal eine Strecke von  $x = 20$  cm nur mit einer Genauigkeit von etwa  $\Delta x = 1$  mm abgelesen werden.

Wird die Messung einer Größe  $n$ -mal durchgeführt, ergibt sich als Mittelwert (= Erwartungswert) der Größe  $x$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (0.1)$$

Die jeweils auftretenden absoluten Messfehler  $\Delta x$  ergeben dann den mittleren absoluten Fehler

$$\Delta \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}| \quad (0.2)$$

Das Messergebnis wird in der Form

$$x = \bar{x} \pm \Delta x \quad (0.3)$$

niedergeschrieben, also beispielsweise

$$x = (20 \pm 0,1) \text{ cm} \quad (0.4)$$

*Hinweis: Bezüglich der Berücksichtigung der gültigen Stellen sollen in diesem Praktikum die Fehler der Einfachheit halber nur mit einer gültigen Stelle angegeben werden.*

#### Relativer Fehler

Neben der Angabe der absoluten Fehler spielen relative Fehler eine entscheidende Bedeutung. So ist beispielsweise ein Messfehler von 1 mm bei einer Strecke von 1 cm relativ viel (nämlich 10%), bei einer Strecke von 1 km hingegen relativ wenig (nämlich  $10^{-6}$ ). Der relative Fehler lässt sich bestimmen durch

$$\gamma = \left| \frac{\Delta x}{\bar{x}} \right| \quad (0.5)$$

und wird einheitslos in Prozent angegeben.

### 0.5.2 Fehlerfortpflanzung

Fehler, die beim Messen einer Größe auftreten (z.B. Radius  $r$  einer Kugel), pflanzen sich bei der weiteren Verarbeitung dieser Größe fort. Soll beispielsweise aus dem gemessenen Radius  $r$  (mit absolutem Fehler  $\Delta r$ ) das Volumen der Kugel berechnet werden,

$$V = \frac{4}{3}r^3\pi \quad (0.6)$$

so kommt bei der Fehlerbestimmung des Volumens der Radius-Fehler dreifach vor:

$$V = \frac{4}{3}r^3\pi \Rightarrow \frac{\Delta V}{V} = 3\frac{\Delta r}{r} \quad (0.7)$$

Ganz allgemein formuliert gilt:

Steht die Variable  $r$  in der  $n$ -ten Potenz, so ist der relative Fehler der Potenz das  $n$ -fache des relativen Fehlers von  $r$ .

Für Funktionen der Form  $f(x) = a \cdot x^m$  gilt folglich:

$$\gamma = \left| \frac{\Delta f}{f} \right| = \left| \frac{1}{a \cdot x^m} m \cdot a \cdot x^{m-1} \cdot \Delta x \right| = \left| m \frac{\Delta x}{x} \right| \quad (0.8)$$

#### Beispiel 1

Welchen Weg legt ein Körper im freien Fall nach der Zeit  $t$  zurück ( $g$  sei als Ortsfaktor fest vorgegeben)?

$$x = \frac{1}{2}gt^2; \quad \gamma = 9\% \quad (0.9)$$

$$\gamma_x = \frac{\Delta x}{x} = 2\frac{\Delta t}{t} = 2 \cdot 9\% = 18\% \quad (0.10)$$

#### Beispiel 2

Gravitationskraft zwischen zwei Massen im Abstand  $r$

$$F_G = \eta \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad (0.11)$$

$$\gamma_{F_G} = \gamma_{m_1} + \gamma_{m_2} + 2\gamma_r \quad (0.12)$$

$$\Delta F_G = \gamma_F \cdot \bar{F}_G \quad (0.13)$$

$$F_G = \bar{F}_G \pm \Delta F_G \quad (0.14)$$



Gehen also mehrere Messgrößen  $x, y, z$  in die Funktion  $f(x, y, z)$  ein, so gilt

$$\Delta f = \left| \frac{\partial f}{\partial x} \Delta x \right| + \left| \frac{\partial f}{\partial y} \Delta y \right| + \left| \frac{\partial f}{\partial z} \Delta z \right| + \dots \quad (0.15)$$

Es gelten folgende vereinfachte Regeln:

1. Der **absolute Fehler** einer Summe oder Differenz von Größen ist die Summe der absoluten einzelnen Fehler
2. Der **relative Fehler** eines Produkts oder Quotienten von Größen ist die Summe der relativen einzelnen Fehler unter Berücksichtigung der jeweiligen Potenzen

$$f(x) = a \cdot m^m \Rightarrow \gamma = \left| m \frac{\Delta x}{x} \right| \quad (0.16)$$

## 0.6 Graphische Messwert-Darstellungen und Auswertungen

Das Auge ist ein sehr präzises Messinstrument. Nicht zuletzt auch deshalb wird eine Mittelwertbildung häufig graphisch bestimmt. Weiter fallen in einer grafischen Datenauswertung „Ausreißer“ sofort auf, einzelne Messwerte können intuitiv bewertet werden. Insgesamt kann man sofort eine allgemeine Aussage über die Qualität einer Messreihe machen.

### 0.6.1 Lineare Gesetze

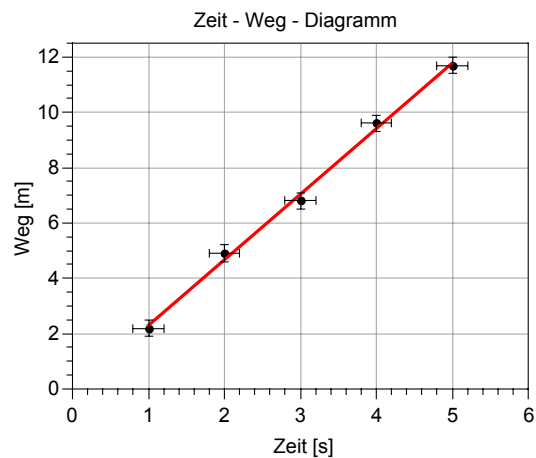
Lineare Zusammenhänge der Form

$$y = a \cdot x + b \quad (0.17)$$

ergeben graphisch eine Gerade mit Steigung und Achsenabschnitt. Ein klassischer Vertreter dieser Kategorie ist die Bewegung eines Körpers mit konstanter Geschwindigkeit:

$$x = x_0 + vt \quad (0.18)$$

Die fünf Messwerte werden in ein Diagramm eingezeichnet und mit einer Ausgleichsgeraden verbunden. Die Gerade wird „herzhaft mit Augenmaß“ gelegt und soll dabei möglichst durch alle Fehlerbalken gehen.



#### Fehlerbalken

Die Fehlerbalken stellen die Unsicherheit der Messung dar: mögliche Fehler bei der

##### a) Zeitmessung

- Reaktionszeit
- Ablesefehler
- ...

##### b) Wegmessung

- Instrumentenfehler
- äußere Einflüsse (Temperatur)
- ...

können hier beispielsweise abgeschätzt werden zu

- $\Delta t = 0.3\text{s}$
- $\Delta x = 10\text{cm}$

### Ausgleichsgerade

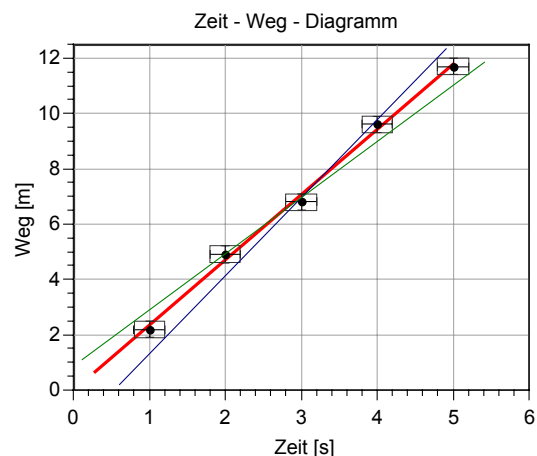
Mit Lineal und herzhafem Augenmaß wird die Ausgleichsgerade durch die Messwerte gelegt. Dabei sollten alle Punkte zumindest im Rahmen ihres Fehlers (Fehlerbalken) auf der Geraden liegen. Liegt ein einzelner Punkt deutlich neben der Geraden kann das ein Hinweis auf einen „Ausreißer“, also einen völlig falschen Messwert, sein.

Aus der Steigung der Ausgleichsgeraden erhält man in diesem Beispiel die mittlere Geschwindigkeit  $v$ , aus dem Achsenabschnitt  $x_0$  die anfängliche Strecke.

### Extremalgeraden

Erweitert man die Fehlerbalken zu Rechtecken, lassen sich die Extremalgeraden einzeichnen, also die größtmögliche Abweichung von der Ausgleichsgerade, die gerade noch die Fehlerrechtecke berührt.

Als grobe Orientierung findet man die größte Steigung, wenn man vom oberen linken Eck des obersten Wertes zum unteren rechten Eck des untersten Wertes geht. Entsprechendes gilt für die kleinste Steigung.



**Wichtig:** der Fehler, der sich aus der grafischen Bestimmung der Steigung ergibt, kann durchaus asymmetrisch sein!

Das Ergebnis in diesem Falle lautet

$$v = (2.4 + 0.4 - 0.3) \text{ m/s} \quad (0.19)$$

**Sonderfall:** handelt es sich bei der Geraden (aus physikalischer Sicht!) um eine Ursprungsgerade, können die Extremalgeraden größter und kleinster Steigung auch durch den Ursprung gezogen werden.

## 0.6.2 Nichtlineare Gesetze

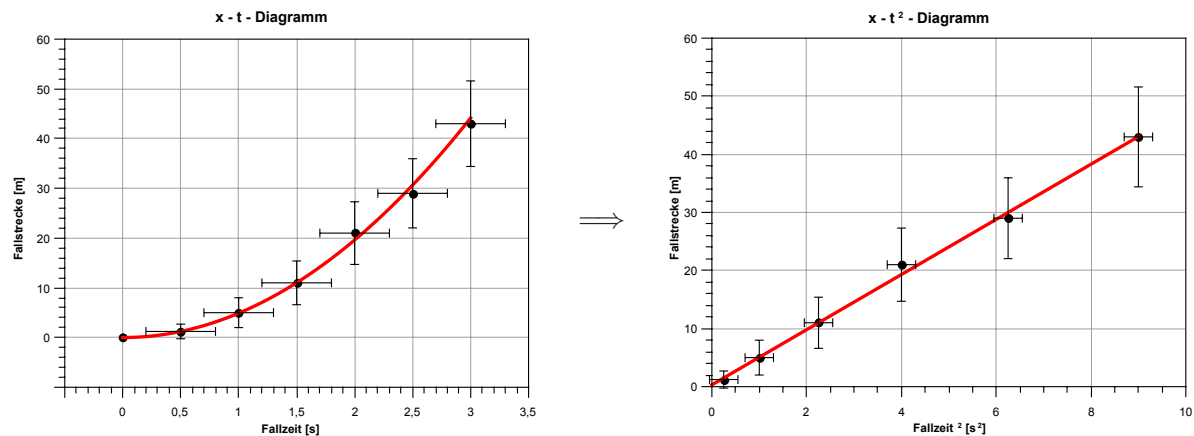
Nichtlineare Zusammenhänge (z.B. quadratische Abhängigkeiten) führen zu dem Problem der schlechten Einschätzung der Messwerte mit dem Auge und der aufwändigen Auswertung. Bereits bei einer relativ einfachen Problemstellung wie der des freien Falls

$$y = \frac{a}{2}t^2 \quad (0.20)$$

erkennt man sofort die Schwierigkeit, dass die „Qualität“ einer Parabel nur schlecht abgeschätzt werden kann. Das Auge kann nicht mehr über die Messpunkte mitteln, „Ausreißer“ fallen nicht sofort auf.

Durch geeignete Transformation jedoch — hier ist es eine Substitution  $T := t^2$  — wird erreicht, dass der Zusammenhang der gemessenen Observablen wieder linear dargestellt werden kann:

$$y = \frac{a}{2}t^2 \xrightarrow{T:=t^2} y = \frac{a}{2}T \quad (0.21)$$

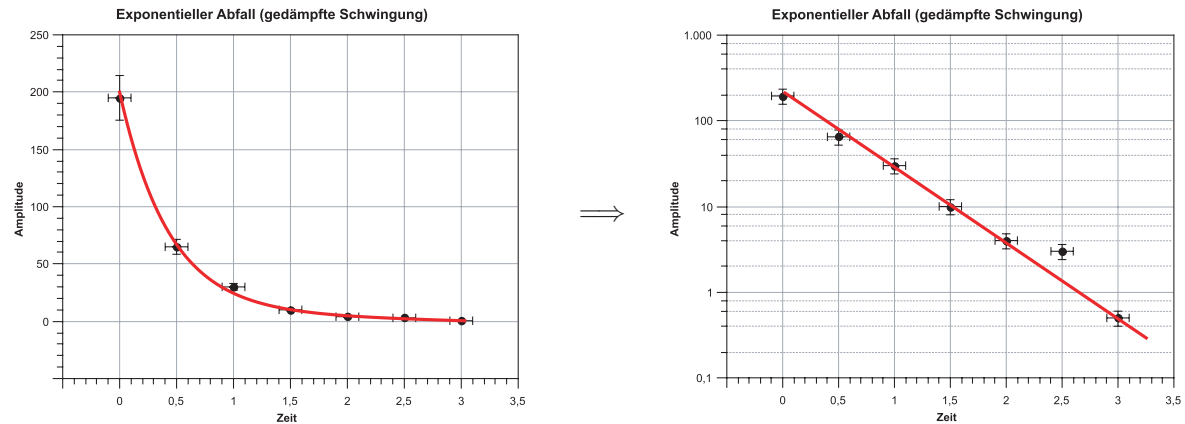


Es wird die Fallhöhe also nicht über der Zeit, sondern über  $t^2$  aufgetragen, wodurch sich substitutionell wieder eine Geradengleichung ergibt.

### 0.6.3 Logarithmische Gesetze

Nur unwesentlich komplizierter wird es bei Gesetzmäßigkeiten mit logarithmischen Zusammenhängen, z.B. bei der Amplitude einer gedämpften Schwingung. Hier führt das Logarithmieren zu einer linearen Darstellung:

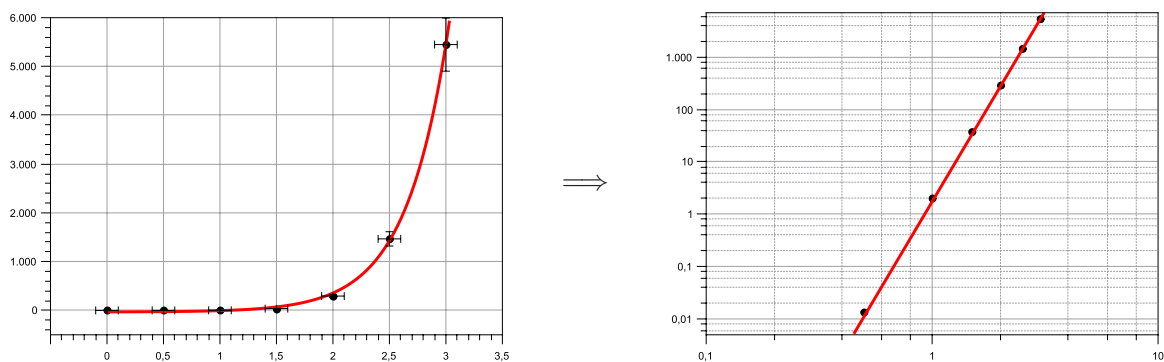
$$y = y_0 \cdot e^{bt} \xrightarrow{\ln} \ln y = \ln(y_0) + bt \quad (0.22)$$



### 0.6.4 Potenzgesetze

Bei Potenzgesetzen (z.B. Wirkungsquerschnitt der Rayleigh-Streuung) gilt das voran Gesagte ohne Einschränkung: hier führt das Logarithmieren zu einer linearen Darstellung:

$$y = a \cdot x^n \xrightarrow{\log} \log y = \log a + n \log x \quad (0.23)$$



## 0.7 Bewertungsrichtlinien

	Punkte
<b>Äußere Form:</b> Titel, Datum sauber arbeiten (insb. bei der Vorbereitung) Lineal, Zirkel, Bleistift für Skizzen	2
<b>Zielsetzung des Versuchs:</b> Fragestellung, Zielsetzung Beschreibung des Aufbaus, um das Ziel zu erreichen, ggfs. mit Skizze Überlegungen zur Versuchsdurchführung (ca. $\frac{1}{4} - \frac{1}{2}$ Seite)	2
<b>Fragen und Aufgaben zur Vorbereitung:</b> jede Frage kurz skizzieren, damit die Antwort ohne Anleitung verständlich und nachvollziehbar ist verwendete Formeln, verwendete Werte (Konstanten), nachvollziehbare Rechnungen, ggfs. Anmerkungen	6
<b>Durchführung:</b> Skizze des Messaufbaus, aus der die verwendeten Größen hervorgehen Messwerte (z.B. in Tabellenform) verwendete Formeln, saubere und nachvollziehbare Rechnung	2
<b>Fehlerbetrachtung:</b> nachvollziehbare, schlüssige Fehlerrechnung (Fehlerfortpflanzung), stets mit Maßeinheiten sinnvolle Rundungen bei grafischer Fehlerermittlung: korrekte Darstellung (z.B. einfach logarithmisch), Beschriftung, keine Rechnung in der Grafik	3
<b>Diagramme:</b> sauber mit Lineal gezeichnet Achsenbeschriftung mit Maßeinheiten größtmögliche Steigungsdreiecke korrekte Ausgleichs- und Extremalgeraden	3
<b>Ergebnisse und Diskussion:</b> Ergebnis deutlich kennzeichnen (z.B. abgesetzt, unterstrichen) und in korrekter Form angeben, z.B. $g = (9,8 \pm 0,2) \text{ m/s}$ Schlußsatz mit Bewertung des Messergebnisses (z.B. „...stimmt im Rahmen der Messgenauigkeit mit dem erwarteten Literaturwert überein...“), bzw. Überlegungen zu möglichen Ursachen, falls das Ergebnis von der Erwartung abweicht	2
<b>Summe:</b>	20

Smileys: ☺(20 - 16) ☹(15 - 11) ☹(10 - 0)

## 0.8 Vorversuch Mechanik: Bestimmung der Erdbeschleunigung $g$ mit einem Pendel

Anhand dieses Vorversuches soll Ihnen gezeigt werden, wie die Versuche des Praktikums bearbeitet werden sollen. Mit dem Musterprotokoll sollen die Auswertung der experimentellen Daten, die Fehlerrechnung sowie eine geeignete graphische Darstellung erübt werden.

### 0.8.1 Aufgaben zur Vorbereitung

1. Sie sitzen mit Stoppuhr und Lineal im Biergarten und wollen überprüfen, ob der Zerfall des Bierschaums tatsächlich exponentiell ist, d.h. die Schaumhöhe  $h \propto e^{-kt}$ . Was müssen Sie wie und in welchem Papier auftragen, um eine Gerade der Steigung  $-k$  zu erhalten und so die exponentielle Abhängigkeit 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  $F \propto x^n$ . Was müssen Sie wie und in welchem Papier auftragen, um eine Gerade zu erhalten und wie bestimmen 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 einen Fehler von  $\Delta m = 80$  kg schätzen (Benzinmenge, Zuladung, etc.). Berechnen Sie den Impuls  $p = m \cdot v$  mit Fehlerangaben ( $\Delta p$  und  $\Delta p/p$ ).
4. Nach langem Rechnen haben Sie mit Ihrem Taschenrechner die nachfolgenden Ergebnisse erhalten. Runden Sie die Ergebnisse richtig!  
(  $2,36 \pm 0,16$  ) m  
(  $21,7342 \pm 0,13254$  ) s  
(  $72,814 \pm 3,821$  ) N  
(  $0,00236 \pm 0,0002$  ) km  
(  $3218,1 \pm 93,247$  ) W

## 0.8.2 Versuchsdurchführung

### Aufbau

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.

### 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	Ihre Werte	Ihre Werte	Ihre Werte

*Hinweis: schätzen Sie Ihre Fehler in der Zeit- und Längenmessung geeignet ab - welches Vorgehen empfiehlt sich dafür?*

### Auswertung

Die erwartete Abhängigkeit der Schwingungsdauer bei einem Pendel lautet:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

Da die Erdbeschleunigung  $g$  bestimmt werden soll, ergibt die Umformung:

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

Tragen Sie nun die Messwerte in geeigneter Darstellung graphisch auf und ermitteln daraus die Erdbeschleunigung  $g$ .

*Hinweis: um für die graphische Auftragung einen linearen Zusammenhang zu erreichen, benutzt man die Beziehung  $l = gT^2/4\pi^2$ . Es muss also  $l$  gegen  $T^2$  aufgetragen werden, um aus der Steigung  $g$  zu bestimmen.*



### Vorgehensweise

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

Um in die Abbildung Fehlerbalken einzeichnen zu können, können Sie jetzt den Mittelwert quadrieren und entsprechend der Regeln zur Fehlerfortpflanzung den relativen und absoluten Fehler von  $\bar{T}^2$  berechnen.

Berücksichtigen Sie in der Abbildung auch den Fehler  $\Delta l$  der Messung der Länge  $l$ . Nun können Sie die Werte in ein Diagramm einzeichnen. Anschließend werden die Ausgleichsgerade und die Extremalgeraden mit maximaler und minimaler Steigung eingezeichnet. Die Auswertung ergibt ein mittleres, maximales und minimales  $g$  (wichtig: der Fehler darf durchaus unsymmetrisch sein!).

Beachten Sie dabei, dass Sie möglichst große Steigungsdreiecke wählen (warum?). Geben Sie als Ergebnis den Mittelwert von  $g$  mit absolutem und relativem Fehler an. Vergessen Sie nicht, richtig zu runden!

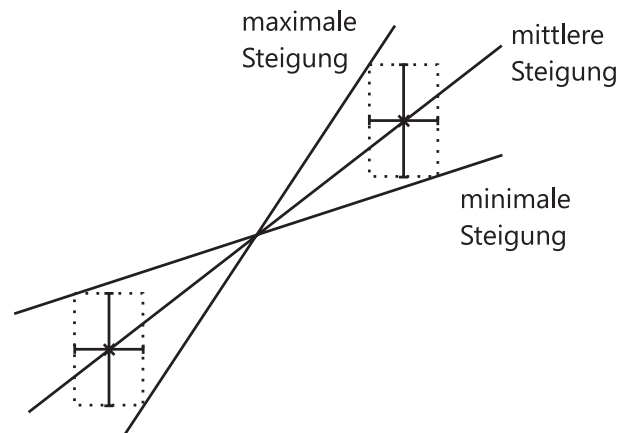


Abbildung 0.1: Skizze zum Einzeichnen der Extremalgeraden

**Zusatzfrage:** In der Praxis wird man nicht mehrere einzelne Schwingungen messen, sondern die Zeit ermitteln, in der das Pendel z.B. 10mal schwingt. Warum wird dadurch die Genauigkeit erhöht, d.h. der Messfehler verringert?

## 0.9 Vorversuch Elektrodynamik:

### 0.9.1 Grundlagen

#### Elektrische Spannung

Mit elektrischer Spannung  $U$  wird die Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten (z.B. eines elektrischen Schaltkreises) bezeichnet. Sie ist ein Maß für die Energie  $E$ , die zur Trennung elektrischer Ladungen  $e$  aufgebracht wurde:  $E = eU$ . Werden die Ladungen wieder vereint, fließt ein elektrischer Strom und die Spannung nimmt ab. Die Einheit der elektrischen Spannung ist das Volt  $[U] = V$ .

Ist die Spannung zeitlich konstant spricht man von Gleichspannung bzw. DC-Spannung (von engl. *direct current*, d.h. Gleichstrom, der aus einer Gleichspannung entsteht). Verändert sich die Spannung periodisch (z.B. mit sinusförmiger Amplitude) spricht man von Wechselspannung bzw. AC-Spannung (von engl. *alternate current*, d.h. Wechselstrom, der aufgrund einer Wechselspannung entsteht.)

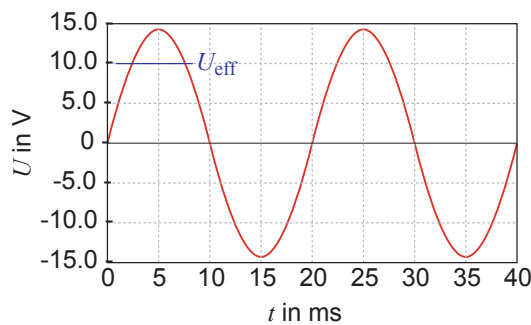


Abbildung 0.2: Wechselspannung  $U_{\text{eff}} = 10V$ ,  $f = 50\text{ Hz}$

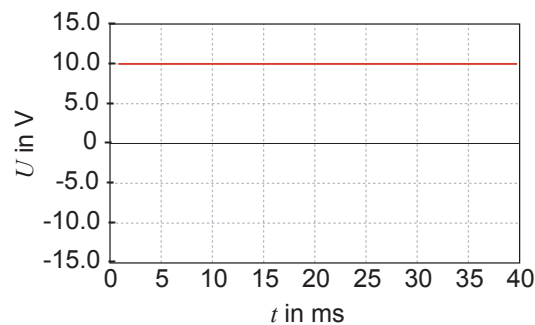


Abbildung 0.3: Gleichspannung  $U = 10V$

Bei einer Überlagerung von Gleich- und Wechselspannung (also z.B. sinusförmige Spannung, deren Nulllinie verschoben ist) spricht man von einer Wechselspannung mit Bias (bzw. DC-Offset).

Beispiele: Batterie(MP3-Player): 1,5V DC; Steckdose (Lichtnetz): 230 V AC

Die Spannung ist eine Potentialdifferenz, also mißt man stets einen Unterschied zwischen zwei Punkten. Das Messgerät (Voltmeter) wird daher immer parallel zum zu messenden Objekt geschaltet:

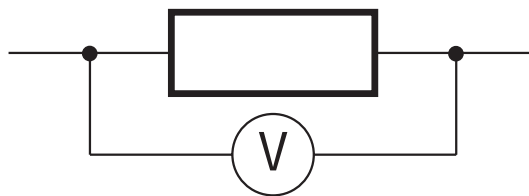


Abbildung 0.4: Messung des Spannungsfalls über einem Widerstand

## Elektrischer Strom

Unter elektrischem Strom  $I$  versteht man die gerichtete Bewegung von Ladungen (z.B. Elektronen). Die **technische** Stromrichtung zeigt hierbei vom Plus- zum Minuspol ( $\oplus \rightarrow \ominus$ ), während die Bewegungsrichtung der Elektronen vom Minus- zum Pluspol geht. Voraussetzung für den Stromfluß ist daher ein geschlossener Stromkreis, d.h. es gibt keine Unterbrechungen.

Ist der Strom zeitlich konstant spricht man von Gleichstrom bzw. DC-Strom (von engl. *direct current*). Verändert sich der Strom periodisch (z.B. mit sinusförmiger Amplitude) spricht man von Wechselstrom bzw. AC-Strom (von engl. *alternate current*).

Die physikalische Einheit des Stromes ist das Ampere [ $I$ ] = A.

Beispiele: MP3-Player:  $I = 50 \text{ mA}$ ; Heizlüfter:  $I = 10 \text{ A}$

Der elektrische Strom fließt durch den Stromkreis (bzw. durch das zu behandelnde Bauteil), also wird das Amperemeter **in Reihe** (man sagt auch: in Serie) zu diesem Bauteil angeschlossen:



Abbildung 0.5: Messung des Stromflusses durch einen Widerstand

## Reihen- und Parallelschaltung von Widerständen

Für Gleichspannungen und Gleichströme kann man den Ohmschen Widerstand durch

$$R = \frac{U}{I} \quad (0.24)$$

definieren. Entsprechend teilen sich Ströme und Spannungen auf, wenn zwei (oder mehr) Widerstände in Reihe bzw. parallel zusammengeschaltet werden. In Abb. 0.6 a) sieht man, dass bei einer Reihenschaltung der Strom an jedem Punkt den selben Wert hat („in einem unverzweigten Stromkreis ist der Strom überall gleich“), während sich der Spannungsfall über den Widerständen proportional zum Widerstandswert verhält (siehe Gl. (0.24)), die Spannung  $+U$  teilt sich also über den Widerständen auf, man spricht von einem *Spannungsteiler*. Die Summe der Einzelspannungen ergeben die Gesamtspannung.

Bei der Parallelschaltung hingegen (siehe Abb. 0.6 b)) liegt an jedem der Widerstände die Spannung  $+U$  an — der Strom teilt sich indirekt proportional zu den Widerstandswerten auf (siehe Gl. (0.24)) und die Summe der Einzelströme ergeben den Gesamtstrom.

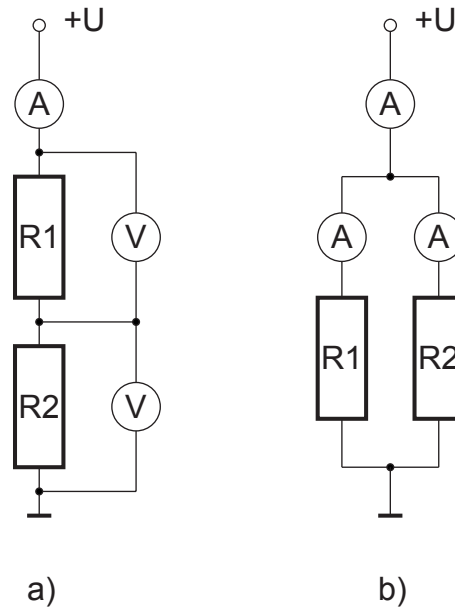


Abbildung 0.6: a) Reihen- und b) Parallelschaltung von Widerständen

### Anwendungsbeispiel

Jedes Meßgerät besitzt einen Meßbereich, innerhalb dessen es die gemessenen Werte zwischen Null und dem maximal anzeigbaren Wert (bei Zeigerinstrumenten: Vollausschlag) darstellt. Will man größere Werte messen, als es der Messbereich zulässt, wird eine Messbereichserweiterung nötig. Dies soll am Beispiel des Amperemeters gezeigt werden:

Ein Amperemeter mit einem Grundmessbereich von  $100 \mu\text{A}$  soll einen Strom der Größenordnung  $1 \text{ mA}$  messen. Damit das Amperemeter nicht überlastet wird, muss ein Widerstand parallel zum Messgerät geschaltet werden, damit sich der Strom aufteilen kann: Das Amperemeter selbst besitzt einen

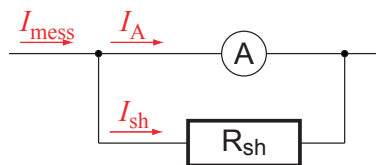


Abbildung 0.7: Messbereichserweiterung beim Amperemeter

Widerstand (man spricht von *Innenwiderstand* des Meßgeräts). Er ist sehr niedrig, um die Schaltung durch den Meßvorgang nicht (oder zumindest möglichst wenig) zu beeinflussen. Der zu messende Strom  $I_{\text{mess}}$  teilt sich auf in den Anteil  $I_A$ , der durch das Amperemeter fließt und den, der durch den Nebenwiderstand („*Shunt*“) geht:  $I_{\text{sh}}$ .

Zur Berechnung des Shunts geht man aus von der Parallelschaltung der Widerstände Innenwiderstand

$R_A$  und Shunt  $R_{sh}$

$$\frac{R_A}{R_{sh}} = \frac{I_{sh}}{I_A}. \quad (0.25)$$

Der Stromfluss durch den Shunt ergibt sich aus

$$I_{sh} = I_{mess} - I_A = 1 \text{ mA} - 100 \mu\text{A} = 0,9 \text{ mA} \quad (0.26)$$

Entsprechend gilt für den Shunt

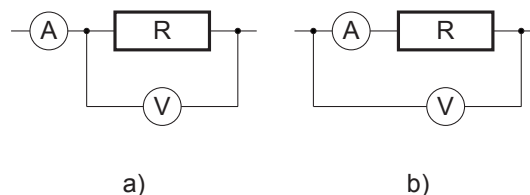
$$R_{sh} = R_A \cdot \frac{I_A}{I_{sh}} = 1,1 \Omega. \quad (0.27)$$

### 0.9.2 Verständnisfragen und Vorversuch

Der Vorversuch dient dem Kennenlernen der Messinstrumente. Sie sollen erste Erfahrungen in der Benutzung dieser Instrumente und mit dem Messvorgang selbst gewinnen. Bitte beantworten Sie zuvor (als Vorbereitung **vor** dem Vorversuch) folgende Fragen:

#### Fragen und Aufgaben zum Versuch

1. Sollte ein Voltmeter einen eher kleinen oder einen eher großen Innenwiderstand haben? Warum?
2. Wie beim Amperemeter benötigt auch das Voltmeter eine Messbereichserweiterung, wenn größere Spannungen gemessen werden sollen, als der Meßbereich des Instruments anzeigen kann. Zeichnen Sie den Schaltplan für die Messbereichserweiterung beim Voltmeter.
3. Berechnen Sie die Widerstandswerte für die zur Erweiterung benötigten Widerstände, wenn der Innenwiderstand  $1 \text{ M}\Omega$  beträgt und der Vollausschlag des Voltmeters bei  $100 \text{ mV}$  erreicht wird. Der neue Messbereich soll  $10 \text{ V}$  umfassen.
4. Um einen unbekanntem Widerstandswert zu ermitteln kann man den Strom durch den Widerstand und den Spannungsfall über den Widerstand messen und anschließend gemäß  $R = U/I$  den Wert berechnen. Abb. 0.8 zeigt zwei mögliche Schaltungen hierfür.



**Abbildung 0.8:** Widerstandsbestimmung mit Stromfehler- und Spannungsfehlermessung

In der Variante Abb. 0.8 a) wird jedoch nicht der Strom durch den Widerstand, sondern durch

den Widerstand **und** durch den Innenwiderstand des Voltmeters gemessen; diese Variante heißt daher *Stromfehlermessung*. In Variante Abb. 0.8 b) wird zwar der Strom korrekt gemessen, dafür aber wird der Spannungsfall über dem Widerstand **und** über dem Innenwiderstand des Amperemeters gemessen *Spannungsfehlermessung*. Eine gleichzeitige exakte Messung von Strom und Spannung ist also niemals möglich.

In welchen Fällen ist eine Stromfehlermessung, in welchen eine Spannungsfehlermessung sinnvoll?

5. In der Versuchsdurchführung des Vorversuchs wird ein sog. Spannungsteiler aufgebaut. Berechnen Sie die zu erwartenden Werte  $I$ ,  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $U_1$  und  $U_2$ .
6. Ist es möglich (sinnvoll?), einen MP3-Player ( $U=3\text{V}$ ,  $I=100\text{mA}$ ) mit Hilfe eines solchen Spannungsteilers an einer Autobatterie ( $U=12\text{V}$ ) zu betreiben? Begründung!

### 0.9.3 Versuchsdurchführung

Für alle Versuche gilt:

In diesem Praktikum werden Sie verschiedene Schaltungen aufbauen und unterschiedliche physikalische Größen messen. Durch unsachgemäßen Aufbau bzw. durch falsches Anschließen des Messgerätes können Bauteile oder Messgeräte zerstört werden. Aus diesem Grund gilt:

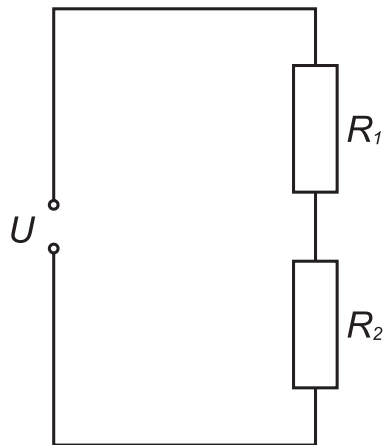
**Holen Sie sich VOR dem Anlegen der Betriebsspannung die Freigabe eines Betreuers!**

Beachten Sie, dass der Spannungsregler des Netzteils **immer** ganz nach links auf Null gedreht ist, **bevor** Sie das Netzteil einschalten!

### Messaufgaben

1. Verbinden Sie das Spannungsmessgerät mit dem regelbaren Netzteil.  
Stellen Sie am Netzteil die Spannungswerte 0,27 V; 1,99 V; 3,2 V; 6,6 V; 12 V ein und messen Sie diese Werte mit dem Spannungsmesser PM 2505 nach, ohne seinen Messbereich zu verändern. Vergleichen Sie in einer Tabelle die am Netzteil angezeigten mit den gemessenen Werten.
2. Wiederholen Sie Aufgabe 1, wobei Sie nun den jeweils „sinnvollsten“ Messbereich verwenden. Achten Sie dabei darauf, den Bereich ausschließlich von „oben“ nach „unten“ zu verändern!
3. Messen Sie mit dem Multimeter die Widerstände  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$  und  $R_2 = 2,2 \text{ k}\Omega$ . Schätzen Sie die Genauigkeit des Ergebnisses ab.

4. Bauen Sie auf dem Steckbrett folgende einfache Schaltung auf und legen Sie eine Gleichspannung von  $U = 5V$  an.



**Abbildung 0.9:** Schaltbild zu Aufgabe 4 mit den Werten  $R_1 = 1k\Omega$ ,  $R_2 = 2,2k\Omega$

- Messen Sie den durch die Schaltung fließenden Strom  $I$  sowie den Spannungsfall  $U_1$  über  $R_1$  und  $U_2$  über  $R_2$ .
  - Berechnen Sie aus den Daten die Widerstandswerte  $R_1$  und  $R_2$ .
  - Vergleichen Sie die Messergebnisse mit denen aus Aufgabe 3 und den aufgedruckten Werten in einer Tabelle. Führen Sie eine Fehlerbetrachtung für 4a durch und berücksichtigen Sie den Toleranzring beim Ablesen des aufgedruckten Wertes.
5. Berechnen Sie den Gesamtwiderstand der Schaltung aus Aufgabe 4 aus den Messungen für  $I$ ,  $U_1$  und  $U_2$  und vergleichen Sie ihn mit dem theoretisch berechneten Wert.
6. Legen Sie an die Schaltung eine Wechselspannung von  $U = 5V / 50Hz$  (Funktionsgenerator) an. Führen Sie damit nochmals die Messaufgaben 4a und 4b durch.