

ulm university universität  
**uulm**

# **Praktikum**

## **Physik für Naturwissenschaftler**

Bericht zum Versuch

### **Freier Fall**

Durchgeführt am 04.07.2019

#### **Gruppe 8**

**Berthold Student** und **Adele Studentin**  
([berthold.student@uni-ulm.de](mailto:berthold.student@uni-ulm.de)) ([adele.studentin@uni-ulm.de](mailto:adele.studentin@uni-ulm.de))

Betreuer: Dr. Carlheinz Röcker

Wir bestätigen hiermit, dass wir die Ausarbeitung selbständig erarbeitet haben und detaillierte Kenntnis vom gesamten Inhalt besitzen.

---

Berthold Student

---

Adele Studentin

**Absichtliches Fälschen von Daten oder das Kopieren von Daten anderer Praktikumsgruppen verstößt gegen die Ethik der Wissenschaft. Es handelt sich hierbei um ein schweres Delikt (Betrug), das in keiner Form akzeptabel ist und daher mit dem sofortigen Ende des Praktikums geahndet wird. Das gesamte Praktikum muss dann zu einem späteren Zeitpunkt wiederholt werden.**

**Dieser Musterbericht lehnt sich an die von Dr. Wolfgang Limmer (Institut für Quantenmaterie) 2008 verfasste und von apl. Prof. Dr. Berndt Koslowski (Institut für Festkörperphysik) modifizierte Musterausarbeitung an.**

Erläuterungen sind durch graue Kästen gekennzeichnet.

## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung .....	3
2. Versuchsdurchführung und Auswertung.....	3
2.1. Versuchsaufbau .....	3
2.2. Messung der Falldauer bei konstanter Fallhöhe .....	4
2.3. Messung der Falldauer bei variabler Fallhöhe .....	6
2.4. Diskussion .....	7
3. Literaturverzeichnis .....	8
4. Anhang.....	8

### Inhaltsverzeichnis und Seitenzahlen

Die Seiten des Berichts müssen fortlaufend nummeriert werden.

Ein Inhaltsverzeichnis ist nicht vorgeschrieben, kann aber je nach Umfang sinnvoll sein.

## 1. Einleitung

Eine der vier Grundkräfte der Physik ist die Gravitationskraft: Zwei Körper ziehen sich aufgrund ihrer Massen gegenseitig an. Im täglichen Leben erfahren wir die Gravitationskraft der Erde als die Kraft, die Gegenstände nach unten, also in Richtung des Erdmittelpunkts zieht. Die Gravitationskraft an der Erdoberfläche kann als Produkt der Masse des angezogenen Körpers und der Erdbeschleunigung  $g$  (auch "Ortsfaktor") ausgedrückt werden.

In diesem Versuch soll die Erdbeschleunigung  $g$  mit Hilfe von Fall-Experimenten bestimmt werden. Hierzu werden Fallzeit und Fallstrecke einer Stahlkugel bestimmt und es wird von einem "freien Fall", d.h. einer konstant beschleunigten Bewegung ohne Luftreibung ausgegangen. Mit Hilfe einer grafischen Auswertung wird  $g$  bestimmt und dabei gleichzeitig überprüft, ob der erwartete funktionale Zusammenhang vorliegt.

### Einleitung

Die Einleitung soll kurz in die allgemeine Thematik des Versuchs einführen und dann überblickend schildern, was in den Experimenten untersucht wird.

## 2. Versuchsdurchführung und Auswertung

### 2.1. Versuchsaufbau

Eine Eisenkugel der Masse  $m = 0.5 \text{ kg}$  ist mithilfe einer stromdurchflossenen Spule an einer höhenverstellbaren Halterung fixiert. Durch Unterbrechung des Stromkreises (Tastschalter) wird die Befestigung gelöst und die Kugel fällt unter Einfluss der Schwerkraft (Erdbeschleunigung  $g$ ) frei zu Boden. Die Falldauer  $T$  wird manuell mit einer Stoppuhr gemessen. Abbildung 1 zeigt schematisch den Versuchsaufbau.

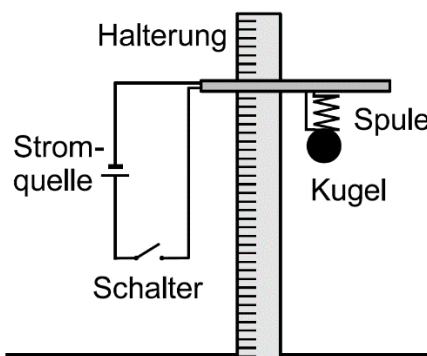


Abbildung 1: Schematische Skizze des verwendeten Versuchsaufbaus zur Fallzeitmessung

(Quelle: W. Limmer, 2008, "Praktikum Physik, Kommentiertes Musterprotokoll", [https://www.uni-ulm.de/fileadmin/website\\_uni\\_ulm/nawi.inst.225/PDF\\_Dateien/Musterausarbeitung.pdf](https://www.uni-ulm.de/fileadmin/website_uni_ulm/nawi.inst.225/PDF_Dateien/Musterausarbeitung.pdf)).

## 2.2. Messung der Falldauer bei konstanter Fallhöhe

Im ersten Teil des Versuches wurde zunächst bei fester Fallhöhe  $h$  die Falldauer  $T$  aus einer Messreihe von 20 Einzelmessungen bestimmt. Ablesen von  $h$  auf der Höhenskala (das ist eine Einzelmessung) ergibt:

$$h = \bar{h} \pm \Delta h = 540.0 \text{ cm} \pm 1.0 \text{ cm}.$$

### Messergebnisse

- Das Messergebnis enthält Maßzahl und Einheit, sowie die Messunsicherheit.
- Die angegebene Messunsicherheit beruht hier auf einer Abschätzung.

Tabelle 1: Messreihe von  $N = 20$  Einzelmessungen der Falldauer  $T$ .

$i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$T_i$ (s)	1.05	1.10	1.03	1.07	1.11	1.08	1.12	1.06	1.03	0.98
$i$	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$T_i$ (s)	1.06	1.07	1.01	1.09	1.08	1.07	1.05	0.95	1.03	1.15

### Tabellen

- Zu jeder Tabelle gehört eine Tabellenüberschrift.
- Auch in einer Tabelle müssen Einheiten angegeben werden:  
typischerweise werden sie nach dem Formelzeichen in Klammern angegeben.
- Auf Tabellen muss an mindestens einer Stelle im Text verwiesen werden.
- Bem: Durch Auftragung in einem geeigneten Diagramm kann nicht nur ein Wert ermittelt werden, sondern auch die funktionale Abhängigkeit der Messgrößen bestätigt werden (siehe Abschnitt 2.3)

Aus den Messwerten in Tabelle 1 ergibt sich als Mittelwert für die Fallzeit:

$$\bar{T} = 1.0595 \text{ s}.$$

Für die Standardabweichung des Mittelwertes erhalten wir

$$\Delta \bar{T} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (T_i - \bar{T})^2} = 0.01047 \text{ s}.$$

Das Ergebnis für die Falldauer  $T$  lautet also einschließlich der Unsicherheit

$$T = \bar{T} \pm \Delta T = (1.060 \pm 0.011) \text{ s}.$$

### Messunsicherheit und signifikante Stellen

- Die angegebene Messunsicherheit ist hier die Standardabweichung des Mittelwerts.
- Auf wie viele Ziffern bzw. Stellen hinter dem Komma sollen die Werte von  $\bar{T}$  und  $\Delta T$  angegeben werden? Dazu gibt es eine klare Regel:  
Zunächst sucht man bei  $\Delta T$  von links beginnend die erste Ziffer ungleich Null. Liegt diese Ziffer zwischen 3 und 9, dann ist die zugehörige Stelle auch die Rundungsstelle. Ist die Ziffer jedoch 1 oder 2, dann liegt die Rundungsstelle rechts daneben.  
Beispiel:  $0.0374 \text{ s} \rightarrow 0.04 \text{ s}$ , aber  $0.01047 \text{ s} \rightarrow 0.011 \text{ s}$
- Auch  $\bar{T}$  wird dann auf diese Stelle gerundet, wobei die Unsicherheit  $\Delta T$  (im Gegensatz zum Mittelwert  $\bar{T}$ ) immer aufgerundet wird!

Gemäß der Praktikumsanleitung [1] ergibt sich für den Zusammenhang zwischen Falldauer  $T$  und Fallhöhe  $h$ :

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

### Gleichungen und physikalische Größen

- Alle Gleichungen auf die im Text Bezug genommen wird, müssen fortlaufend nummeriert werden.
- Alle physikalischen Größen und Symbole müssen im Text definiert und im gesamten Bericht einheitlich verwendet werden, insbesondere auch wenn die einzelnen Abschnitte von unterschiedlichen Mitgliedern der Gruppe angefertigt wurden.

Die Erdbeschleunigung  $g$  lässt sich nun nach Gl. (1) aus

$$g = \frac{2h}{T^2} \quad (2)$$

berechnen. Einsetzen der Messergebnisse für  $h$  und  $T$  in (2) liefert

$$\bar{g} = 9.6120 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

Die Unsicherheit  $\Delta g$  ergibt sich mit Hilfe der Größtfehlerabschätzung zu

$$\Delta g = \left| \frac{\partial g}{\partial h} \Delta h \right| + \left| \frac{\partial g}{\partial T} \Delta T \right| = \frac{2}{\bar{T}^2} \Delta h + \frac{4\bar{h}}{\bar{T}^3} \Delta T. \quad (3)$$

Einsetzen der Messwerte und deren Messunsicherheiten in (3) liefert

$$\Delta g = (0.0178 + 0.1995) \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 0.2173 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}. \quad (4)$$

Das Endergebnis für  $g$  lautet somit

$$g = \bar{g} \pm \Delta g = (9.61 \pm 0.22) \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

Nach Gl. (4) resultiert der weitaus größere der beiden Beiträge zu  $\Delta g$  aus der Messunsicherheit  $\Delta T$ .

### 2.3. Messung der Falldauer bei variabler Fallhöhe

Im zweiten Teil des Versuchs wurde nun die Falldauer  $T$  als Funktion der (variablen) Fallhöhe  $h$  gemessen, um die Abhängigkeit gemäß Gl. (1) zu prüfen. Für jede Fallhöhe wurde die Fallzeit aus einer Einzelmessung ermittelt. Die Messwerte sind in Tabelle 2 aufgelistet.

Tabelle 2: Gemessene Werte für die Falldauer  $T$  als Funktion der Fallhöhe  $h$ .

$i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$h_i$ (m)	6.2	5.8	5.4	5.0	4.6	4.2	3.8	3.4	3.0
$T_i$ (s)	1.11	1.11	1.06	0.99	1.0	0.95	0.87	0.82	0.80
$T_i^2$ (s <sup>2</sup> )	1.23	1.23	1.12	0.98	1.00	0.90	0.76	0.67	0.64
$\Delta T_i^2$ (s <sup>2</sup> )	0.22	0.22	0.21	0.20	0.20	0.19	0.17	0.16	0.16

Nach Gl. (1) gilt:  $T \propto \sqrt{h}$ .

Um einen linearen Zusammenhang zur graphischen Ermittlung von  $g$  zu erhalten wird daher  $T^2$  über der Fallhöhe  $h$  aufgetragen (Abb. 2).

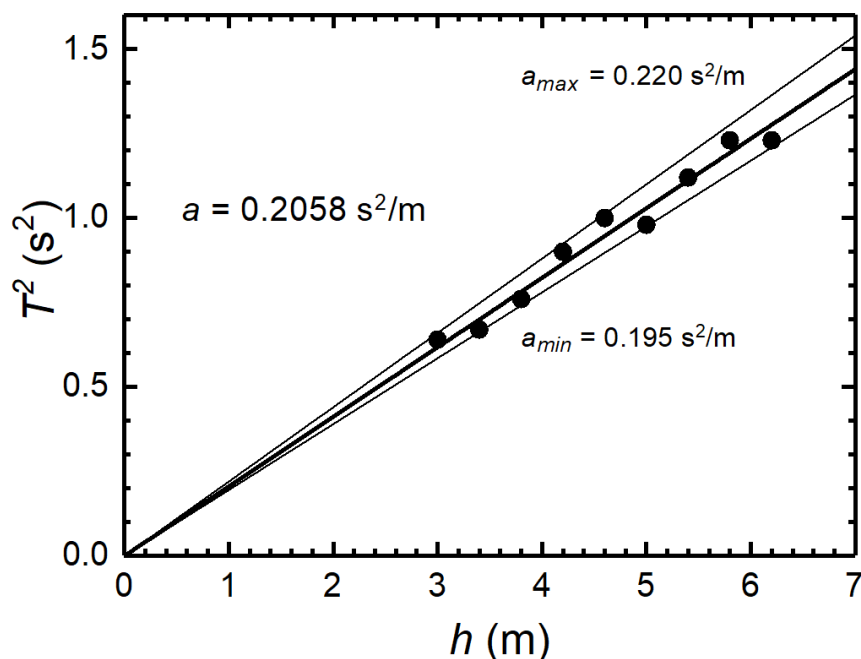


Abbildung 2: Linearisierter Graph zur Ermittlung der Erdbeschleunigung  $g$  aus dem Zusammenhang von Falldauer  $T$  und Fallhöhe  $h$ .

#### Abbildungen, Diagramme

- Zu jeder Abbildung gehört eine Bildunterschrift.
- Auf Abbildungen muss im Text mindestens einmal verwiesen werden.
- Symbole und Schriftgröße in Diagrammen müssen ausreichend groß sein, sodass die Beschriftung (auch nach einer möglichen Verkleinerung des Bildes) noch gut lesbar ist.
- Die Daten müssen als Datenpunkte ohne Verbindungslinie dargestellt werden.
- Achsenbeschriftung in Diagrammen mit Einheiten:  $T^2$  (s<sup>2</sup>),  $h$  (m)

Bezeichnen wir die Steigung der resultierenden Geraden mit  $a$ , so gilt

$$T^2 = \frac{2}{g} h = a \cdot h \quad \Rightarrow \quad g = \frac{2}{a} \quad (5)$$

Aus der Steigung der Ausgleichsgeraden in Abb. 2 und den beiden Grenzgeraden erhalten wir mit Gl. (5)

$$\bar{g} = 9.718 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

und 
$$g_{\min} = \frac{2}{a_{\max}} = 9.091 \text{ m/s}^2, \quad g_{\max} = \frac{2}{a_{\min}} = 10.256 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

Mit

$$\Delta g = \frac{1}{2}(g_{\max} - g_{\min}) = 0.58 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

folgt

$$g = \bar{g} \pm \Delta g = (9.7 \pm 0.6) \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

#### 2.4. Diskussion

Es wurden zwei Varianten von Versuchsreihen zur Untersuchung des freien Falls durchgeführt, die zu vergleichbaren Ergebnissen für die Erdbeschleunigung  $g$  führten. In der ersten Versuchsreihe, bei der die Fallzeit bei konstanter Fallhöhe mehrfach gemessen und der Mittelwert gebildet wurde, ergab sich:  $g = \bar{g} \pm \Delta g = (9.6 \pm 0.3) \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ . Bei der zweiten Messreihe, bei der die Fallzeit in Abhängigkeit von der Fallhöhe untersucht und mittels linearer Regression ausgewertet wurde, konnte der erwartete lineare Zusammenhang bestätigt und ein Wert von  $g = \bar{g} \pm \Delta g = (9.7 \pm 0.6) \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  ermittelt werden.

Beide Werte sind etwas kleiner als der Literaturwert von  $g = 9.807 \text{ m/s}^2$  [2]. Die Ursache für diese Abweichung könnte darin liegen, dass systematisch zu lange Fallzeiten gemessen wurden (siehe Gl.(2)), was wiederum durch das Vorliegen von Luftreibung verursacht sein könnte. Allerdings sind beide Ergebnisse im Rahmen des abgeschätzten Größtfehlers kompatibel mit dem Literaturwert, daher ist diese Interpretation eher spekulativ und müsste durch weitere, genauere Experimente untermauert werden.

Gemäß der Größtfehlerabschätzung nach Gl. (4) resultiert der weitaus größte Beitrag zu  $\Delta g$  aus der Messunsicherheit  $\Delta T$ , d.h. um zuverlässigere Ergebnisse zu erhalten, sollte die Genauigkeit der Zeitmessung verbessert werden. Bei der zweiten Versuchsreihe (2.3) hätte ein wesentlich genaueres Ergebnis erzielt werden können, wenn man für jede Fallhöhe anstatt einer Einzelmessung eine Messreihe für  $T$  durchgeführt und den Mittelwert verwendet hätte. Auch der lineare Verlauf in Abb. 2 hätte dann noch deutlicher verifiziert werden können.

### Diskussion von Ergebnissen

- Es sollte zunächst das Resultat diskutiert werden und dann mögliche Gründe für eine signifikante Abweichung von der Erwartung. Achten Sie auf die Richtung der Abweichung! Ist diese mit der diskutierten Ursache zu erklären?
- In diesem Beispiel werden beide Versuchsteile gemeinsam diskutiert, weil dieselbe Größe bestimmt wurde und ein Vergleich der Ergebnisse Teil der Diskussion ist. Wenn in den einzelnen Versuchsteilen unterschiedliche Dinge untersucht werden ist es oft besser, eine individuelle Diskussion direkt an den jeweiligen Ergebnisteil anzuschließen.

## 3. Literaturverzeichnis

[1] Wolfgang Limmer, *Praktikumsanleitung*, WS 2008/09.

[2] Horst Kuchling, *Taschenbuch der Physik*, (Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, München, 1996).

### Zitate

- Bei fremdem Text- und Bildmaterial muss neben der direkten Bezugsquelle auch die Originalquelle zitiert werden.
- Zitate aus Wikipedia werden nicht generell abgelehnt, aber es muss die volle URL mit Zeitpunkt des Aufrufs angegeben werden.
- Wörtliche Zitate sind in einzelnen Sätzen erlaubt, aber die wörtliche Wiedergabe von ganzen Absätzen ist untersagt. Sie sollen Inhalte mit eigenen Worten wiedergeben.

## 4. Anhang

### Messprotokoll (Laborheft oder Protokolldatei)

- Während des Versuchstags muss im **Laborheft oder** in einer **Protokolldatei** auf dem Notebook ein Protokoll des Versuchsablaufs geführt werden, in dem Vorgehensweise, Daten und Beobachtungen strukturiert nach Versuchsteilen festgehalten werden.
- Dieses Protokoll muss dem Bericht als Anhang beigelegt werden.

Bem: Versuchsreihen werden in der Regel direkt in ein Tabellenkalkulations-Programm eingetragen und dort ausgewertet. Die zugehörigen Diagramme werden im Hauptteil des Berichts dargestellt und diskutiert, die Tabellen mit den Messwerten werden dort nur gezeigt, wenn es sich um wenige Daten handelt, ansonsten gehören diese in den Anhang.



Messprotokoll

Freie Fall

4.7.2019

Vorbereitung: gemäß Skizze aus Anleitung  
Kasse Eisenkugel  $m = 0,5 \text{ kg}$   
(spielt aber keine Rolle!)

Höhenverstellbare Halterung:

Ablesegenauigkeit Höhenkala  $\approx \pm 1 \text{ cm}$   
(genaue Lage der Kugel?)

Fallzeitmessung mit Stoppuhr:

Stoppuhr selbst  $\approx 0,01 \text{ s}$   
Zeitmessung (Reaktion!)  $\approx 0,1 \text{ s}$   
geschätzt

Vorversuche zum Trainieren des Zeitstopps

→ Beobachtung: Kugel löst sich verzögert  
vom Magnethalter!

Vorbereitung 1: Konstante Fallhöhe

Fallstrecke:  $5,40 \text{ m} \pm 1 \text{ cm}$

Messreihe: 20 Messungen

→ Datei: "Konstant Fall"

Vorbereitung 2: Variable Fallhöhe

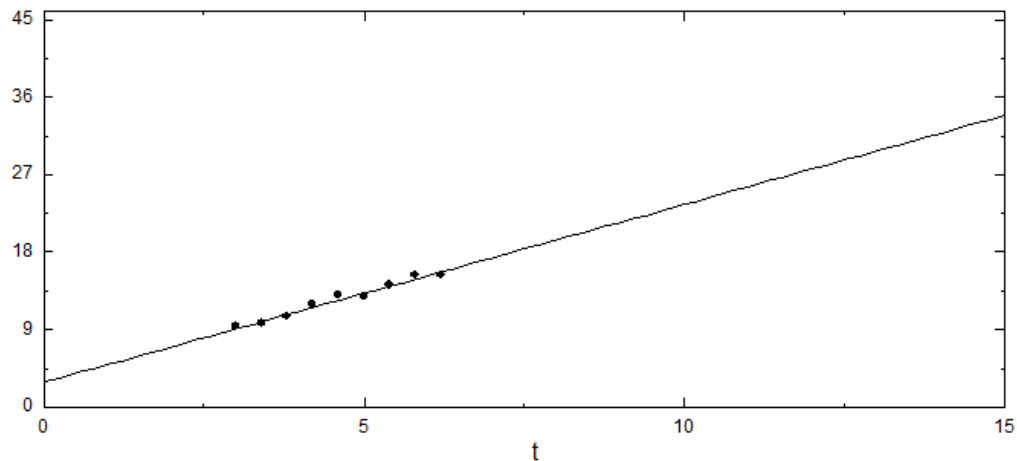
Messreihe: 9 Messungen

→ Datei: "Vari-Fall"

## Schlussbemerkung:

### So sollten Diagramme nicht aussehen!

In einem Diagramm soll der gemessene Ort  $x$  in Metern (m) über der Zeit  $t$  in Sekunden (s) aufgetragen werden. Die Ausführung in der folgenden Abbildung ist völlig inakzeptabel:



### Mängel:

- An der Ordinate fehlen die Bezeichnung und die Einheiten der dargestellten Größe, nämlich  $x$  (m), und an der Abszisse fehlt die Einheit (s).
- Die Beschriftungen sind viel zu klein.
- Nur ein kleiner Teil der Diagramm-Fläche wird zur Darstellung genutzt.
- Die Messpunkte sind zu klein dargestellt.
- Es fehlt die Bildunterschrift.
- Die Skaleneinteilung der Ordinate ist extrem unbequem, die Einteilung der Abszisse zu grob. Man versuche z.B. den Ort  $x$  zum Zeitpunkt  $t = 4$  s auf der Ordinate abzulesen!