



Protokoll zum Versuch

Schiefe Ebene

(Versuch 15)

Autor: Finn Zeumer (hz334)

Versuchspartnerin: Annika Künstle

Versuchsbegleiter: Sarah Placek

Datum der Ausführung: 11.09.2025

Abgabedatum: 18.09.2025

Inhaltsverzeichnis

I. Einleitung	3
1.1. Aufgabe und Motivation	3
1.2. Physikalische Grundlagen	3
Messdaten	4
II. Durchführung	6
2.1. Versuchsaufbau	6
2.2. Messverfahren	6
III. Auswertung	8
3.1. Aufgabe 1: Qualitative Beobachtung der drei Zylinder	9
3.2. Aufgabe 2: Bestimmung der Rollbeschleunigung	9
IV. Diskussion	10
4.1. Zusammenfassung	10
4.2. Diskussion	10
4.3. Kritik	10

I. Einleitung

1.1. Aufgabe und Motivation

Ziel des Versuchs ist es, das Bewegungsverhalten von unterschiedlich geformten Rollkörpern (Voll- und Hohlzylinder) auf einer schießen Ebene experimentell zu untersuchen. Dazu werden die Beschleunigungen der Körper bestimmt und mit den theoretischen erwartungen verglichen. Darüber hinaus wird die Energieumwandlung zwischen potentieller Energie, Translations- und Rotationsenergie betrachtet, um die Energieerhaltung beim Rollvorgang zu überprüfen. Die Auswertung erfolgt unter Anwendung der Fehlerrechnung, so dass Experimentelle Abweichungen quantifiziert werden können.

1.2. Physikalische Grundlagen

[Wag25] Ein Körper der Masse m befindet sich auf einer schießen Ebene mit Neigungswinkel φ . Auf ihn wirkt die Hangabtriebskraft

$$F_H = mg \sin(\varphi) \quad (1)$$

sowie die Reibungskraft F_R , die für das Abrollen ohne Rutschen notwendig ist. Die Reibungskraft erzeugt am Radius r ein Drehmoment

$$M = F_R \cdot r = I \dot{\omega}, \quad (2)$$

wobei I das Trägheitsmoment und ω die Winkelgeschwindigkeit ist. Unter Verwendung der Rollbedingung

$$v = \omega r \quad (3)$$

mit der Schwerpunktgeschwindigkeit v ergibt sich für die Reibungskraft

$$F_R = \frac{I}{r^2} a, \quad (4)$$

wobei a die Beschleunigung des Schwerpunkts bezeichnet.

Die Kräftebilanz am Schwerpunkt liefert

$$ma = mg \sin(\varphi) - F_R. \quad (5)$$

Einsetzen von Gleichung 4 in Gleichung 5 führt auf die allgemeine Form für die Beschleunigung:

$$a = \frac{mg \sin(\varphi)}{m + \frac{I}{r^2}}. \quad (6)$$

Das Trägheitsmoment hängt von der Geometrie des Körpers ab. Für einen Vollzylinder mit Radius r und Masse m gilt

$$I_{\text{Voll}} = \frac{1}{2}mr^2, \quad (7)$$

während ein Hohlzylinder mit Innenradius r_i und Außenradius r_a das Trägheitsmoment

$$I_{\text{Hohl}} = \frac{1}{2}m(r_a^2 + r_i^2) \quad (8)$$

besitzt.

Energiebetrachtungen zeigen, dass die Potentiellenergie

$$E_{\text{pot}} = mgh \quad (9)$$

beim Abrollen in Translationsenergie

$$E_{\text{trans}} = \frac{1}{2}mv^2, \quad (10)$$

sowie Rotationsenergie

$$E_{\text{rot}} = \frac{1}{2}I\omega^2 \quad (11)$$

übergeht. Die Gesamtenergie des Systems bleibt dabei erhalten:

$$E_{\text{ges}} = E_{\text{pot}} + E_{\text{trans}} + E_{\text{rot}}. \quad (12)$$

11.09.2025

Amilia Künast, Finn Ziemer

15 - Schiefe Ebene

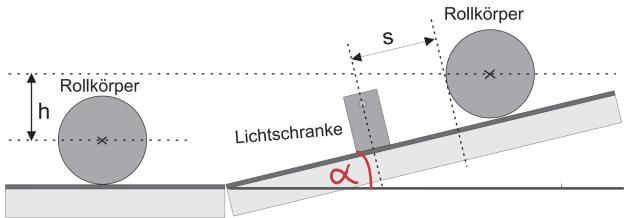


Tabelle 1) Zylinder-Eigenschaft

Zylinder	Masse [g]	Durchmesser [cm]	Innendurchmesser [cm]	Breite [cm]
Vollzylinder	444	5,0	/	8,0
Verbandszylinder	444	5,0	/	8,0
Hohlzylinder	443	5,0	4,0	7,0

Gemessene Eigenschaften der verschiedenen Zylinder Typen.

Waage: CS200

Genaugkeit: 1g.

Schielelehre:

$\frac{1}{20} \text{ mm}$ (Ungenauigkeit)

Ablaufschw.: $0,5 \cdot 1\text{mm} = 0,5\text{mm}$

Metallineal: $0,5 \cdot 1\text{mm} = 0,5\text{mm}$

Gemessene Strecken / Dicken
der Schiefen Ebene.

Maße der Ebene:

Hypotenuse (Reißfläche): 87,2 cm

Ankathete : 86 cm

Gegenkathete (Höhe) : 14,5 cm (inh. Holzplatte, ohne dicke Metallplatte)

Holzplatte (Dicke) : 1,8 cm, dicke Metallplatte: 0,2 cm

Aufgabe 2)

Der Verbandszylinder ist am schnellsten unten, gefolgt vom Vollzylinder und zum Schluss der Hohlzylinder.

Dies liegt an den verschiedenen Trägheitsmomenten, welche vom Radius, der Masse und ihrer Verteilung abhängt. Ein höheres Trägheitsmoment geht einher mit einer höheren Trägheit; ergo ist die Winkelbeschleunigung "schwieriger" bei hohen Trägheitsmomenten.

Dies haben 3 qualitative Durchgänge bestätigt.

Aufgabe 3

Tabelle 2) Lichtschrankenabstand

Lichtschranke	Abstand zur Startlinie [cm]
LS ₁	16
LS ₂	32
LS ₃	48
LS ₄	64

Abstände der Lichtschranken (LS) zur Startlinie (Metallinialmessung).

Alle auf schiefen Ebene.

Tabelle 3) Messungen 4 Zeiten auf Schrägen

Messung	Zylinder	Zeit LS ₁ [s]	Zeit LS ₂ [s]	Zeit LS ₃ [s]	Zeit LS ₄ [s]
1	Voll-	0,589	0,811	1,018	1,175
	Hohl-	0,648	0,895	1,124	1,299
2	Voll-	0,583	0,807	1,013	1,170
	Hohl-	0,651	0,901	1,129	1,305
3	Voll-	0,586	0,808	1,015	1,171
	Hohl-	0,634	0,879	1,106	1,280
4	Voll-	0,585	0,806	1,013	1,170
	Hohl-	0,649	0,901	1,128	1,304
5	Voll-	0,579	0,800	1,007	1,164
	Hohl-	0,636	0,889	1,117	1,293

Messungen der 4 Zeiten auf der schiefen Ebene der Tabelle 2 zu entnehmenden LS. Vergleich von Vollzylinder und Hohlzylinder.

Die Zeitwerte für den Hohlzylinder variieren teilweise stärker als die des Vollzylinders, weil er einen Rechtsdrall beim Rollen hat & das Papier innerhalb nicht homogen verteilt ist und daher je nach Ausrichtung die LS unterschiedlich ansingt.

Aufgabe 4

$$s_{\text{Ebene}} = 16 \text{ cm} \quad (\text{LS}_4; \text{LS}_3)$$

LS1 ist 2cm von Startpunkt entfernt.

$$s_{\text{schräge Ebene}} = 64 \text{ cm} \quad (\text{LS}_2; \text{LS}_1)$$

Tabelle 4) Zeit auf Ebene

Messung	Zylinder	Beschleunigung		Ebene Bewegung	
		Zeit LS ₁ [s]	Zeit LS ₂ [s]	Zeit LS ₃ [s]	Zeit LS ₄ [s]
1	Voll-	0,678	1,350	1,392	1,627
	Hohl-	0,741	1,487	1,534	1,812
2	Voll-	0,670	1,341	1,383	1,630
	Hohl-	0,729	1,479	1,527	1,804
3	Voll-	0,671	1,342	1,384	1,630
	Hohl-	0,743	1,493	1,540	1,818
4	Voll-	0,682	1,353	1,395	1,641
	Hohl-	0,762	1,510	1,556	1,835
5	Voll-	0,679	1,349	1,392	1,637
	Hohl-	0,762	1,512	1,558	1,836

Vergleich Voll- und Hohlzylinder einmal in der Schrägen und einmal in der Ebene.

J. Th.

II. Durchführung

2.1. Versuchsaufbau

Für den Versuch wurde eine höhenverstellbare Rollbahn verwendet, deren Neigung mit einer Wasserwaage überprüft und gegebenenfalls nachjustiert wurde, sodass über die gesamte Breite eine einheitliche Neigung vorlag. Als Messgeräte dienten mehrere Lichtschranken mit Steuergerät, die an einem elektronischen Zeitmesssystem angeschlossen waren. Jede Lichtschranke bestand aus einem Infrarotsender und -Empfänger. Ein am Start Mechanismus angebrachter Schalter löste den Startgang der Uhr aus, während die einzelnen Lichtschranken die Stoppereignisse lieferten. Zur Vermessung der Rollkörper standen eine Schieblehre und eine Waage zur Verfügung. Die verwendeten Rollkörper waren ein Vollzylinder aus Aluminium, ein Hohlzylinder aus Messing sowie ein Verbundzylinder mit Aluminiummantel und Messingkern.

2.2. Messverfahren

Aufgabe 1: Vermessung der Ebene und der Probekörper

Die schiefe Ebene wurde hinsichtlich Länge und Höhe vermessen, um den Neigungswinkel zu berechnen. Die Probekörper (Voll- und Hohlzylinder) wurden mit Schieblehre und Waage vermessen, um Durchmesser, Masse und Messfehler zu erfassen. Der Verbundzylinder wurde qualitativ betrachtet, aber nicht vermessen.

Aufgabe 2: Untersuchung der Bewegungsart

Zur qualitativen Analyse wurden alle drei Rollkörper gleichzeitig gestartet, um Unterschiede in den Beschleunigungen zu beobachten. Die Lichtschranken wurden in verschiedenen Abständen positioniert, um die Gleichförmigkeit der Beschleunigung zu überprüfen. Es zeigte sich, dass die Bewegung gleichmäßig beschleunigt verläuft, da die gemessenen Zeiten proportional zu \sqrt{s} stiegen.

Aufgabe 3: Quantitative Untersuchung der Beschleunigung

Für die präzise Messung der Beschleunigung wurden ausschließlich Voll- und Hohlzylinder verwendet. Die Abstände s der Lichtschranken zum Startmechanismus wurden jeweils bestimmt. Jeder Zylinder wurde fünfmal gestartet, und die Durchgangszeiten an den Lichtschranken wurden notiert. Während der Messreihe wurde beim Vollzylinder ab der vierten Messung die Startvorrichtung sanfter betätigt, was sich geringfügig in den Daten widerspiegelt. Die Auswertung erfolgt über die Darstellung von s gegen t^2 , wobei die Steigung direkt die Beschleunigung liefert.

Aufgabe 4: Untersuchung der Energieerhaltung

Zur Überprüfung der Energieerhaltung wurden zwei Lichtschranken am horizontalen Ende der Rollbahn montiert. Aus den Durchgangszeiten konnte die Geschwindigkeit bestimmt werden. Voll- und Hohlzylinder wurden jeweils fünfmal gemessen. Parallel wurde die Höhenmessung von der Tischhöhe bis zum unteren Punkt

der Rollbahn durchgeführt, um die potentielle Energie gemäß

$$E_{\text{pot}} = mgh$$

zu berechnen. Die kinetische Gesamtenergie

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$$

wurde mit der potentiellen Energie verglichen, um den Energieerhaltungssatz experimentell zu überprüfen.

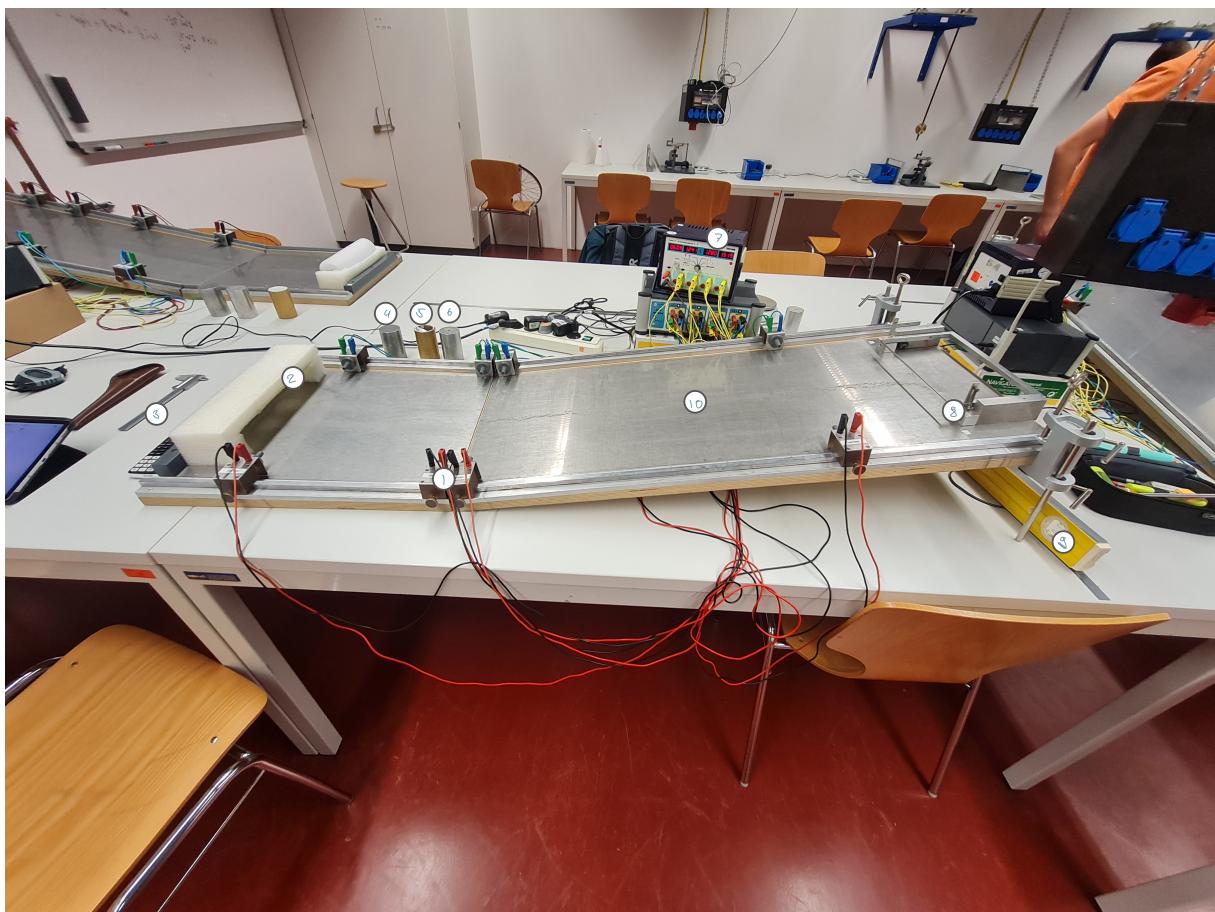


Abbildung II.1.: Versuchsaufbau zum Versuch 15. Dargestellt sind: 1: Lichtschranke, 2: Zielvorrichtung, 3: Schieblehre, 4: Massivvollzylinder, 5: Hohlzylinder, 6: Verbundszylinder, 7: Stoppuhr (verbunden mit Lichtschranke), 8: Startvorrichtung, 9: Wasserwaage, 10: Laufplatte

III. Auswertung

Fehlerrechnung

Für die statistische Auswertung von n Messwerten x_i werden folgende Größen definiert [?]:

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

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad \text{Variation} \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{Standardabweichung} \quad (3)$$

$$\Delta\bar{x} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2} \quad \text{Fehler des Mittelwerts} \quad (4)$$

$$\Delta f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x} \Delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \Delta y\right)^2} \quad \text{Gauß'sches Fehlerfortpflanzungsgesetz für } f(x, y) \quad (5)$$

$$\Delta f = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2} \quad \text{Fehler für } f = x + y \quad (6)$$

$$\Delta f = |a| \Delta x \quad \text{Fehler für } f = ax \quad (7)$$

$$\frac{\Delta f}{|f|} = \sqrt{\left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{y}\right)^2} \quad \text{relativer Fehler für } f = xy \text{ oder } f = x/y \quad (8)$$

$$\sigma = \frac{|a_{lit} - a_{gem}|}{\sqrt{\Delta a_{lit}^2 + \Delta a_{gem}^2}} \quad \text{Berechnung der signifikanten Abweichung} \quad (9)$$

3.1. Aufgabe 1: Qualitative Beobachtung der drei Zylinder

Die Messung zeigte, dass beim gleichzeitigen Start der drei Rollkörper der Verbundzylinder zuerst und der Hohlzylinder zuletzt das Ende der schiefen Ebene erreichte. Ursache hierfür ist das unterschiedliche Trägheitsmoment der Körper. Da alle nahezu die gleiche Masse besitzen, entscheidet die Massenverteilung über das Trägheitsmoment: Beim Hohlzylinder liegt die Masse weiter von der Rotationsachse entfernt, wodurch sein Trägheitsmoment gemäß [Gleichung 8](#) größer ist. Beim Verbundzylinder ist die Masse hingegen näher an der Achse konzentriert, was zu einem kleineren Trägheitsmoment als beim Vollzylinder führt 1 (vgl. [Gleichung 7](#)).

3.2. Aufgabe 2: Bestimmung der Rollbeschleunigung

Zunächst werden die wichtigen Maße der Ebene vermerkt. Die Zylinder beschleunigen dabei über eine Strecke von $l_r = (87,20 \pm 0,05) \text{ cm}$. Die untere Kante der Abrollhöhe liegt bei $h' = (12,70 \pm 0,05) \text{ cm}$. Wir müssen jedoch noch die Decke der Holzplatte und der Metallplatte dazu addieren. Die Werte liegen bei $D_h = (1,8 \pm 0,05) \text{ cm}$ für die Holzplatte und $D_m = (0,2 \pm 0,05) \text{ cm}$ für die Metallplatte. Der Fehler der gesamten Starthöhe ist nach [Gauß'scher Fehlerfortpflanzung \(5\)](#)

$$\Delta h_s = 0,09 \text{ cm} \quad (10)$$

Unsere Starthöhe liegt somit bei

$$h_s = (14,70 \pm 0,09) \text{ cm}. \quad (11)$$

Um später Ergebnisse besser überprüfen zu können, haben wir auch noch die Projektion der Lauffläche (die Ankathete) vermessen und kamen dabei auf eine Länge von $l_{an} = (86,00 \pm 0,05) \text{ cm}$.

IV. Disskusion

4.1. Zusammenfassung

4.2. Disskusion

4.3. Kritik

Abbildungsverzeichnis

- II.1. Versuchsaufbau zum Versuch 15. Dargestellt sind: 1: Lichtschranke, 2: Zielvorrichtung, 3: Schieblehre, 4: Massivervollzyylinder, 5: Hohlzyylinder, 6: Verbundszyylinder, 7: Stoppuhr (verbunden mit Lichtschranke), 8: Startvorrichtung, 9: Wasserwaage, 10: Laufplatte

Tabellenverzeichnis

I.1.	Zylinder-Eigenschaften	6
I.2.	Lichtschrankenabstand	6
I.3.	Messungen von 4 Zeiten über die schräge Fläche	6
I.4.	Messung der Zeiten auf der Ebene	6

Literaturverzeichnis

- [Wag25a] Dr. J. Wagner. *Physikalisches Praktikum PAP 1 für Studierende der Physik*, chapter 15. Universität Heidelberg, 2025.
- [Wag25b] Dr. J. Wagner. *Physikalisches Praktikum PAP 1 für Studierende der Physik*, pages 4–28. Universität Heidelberg, 2025.