

Fakultät für Physik der Ludwig-Maximilians-Universität München
Grundpraktikum in Experimentalphysik - Kurs P1
Blockpraktikum vom 23. Februar bis 23. März 2026

Versuch:					Gruppe:				
Vorname 1:					Name 1:				
Vorname 2:					Name 2:				
Mit Abgabe der Auswertung wird bestätigt, dass diese eigenständig erstellt wurde!									
Die Abgabe ist vor dem Einreichen auf eine saubere äußere Form und Struktur zu kontrollieren. Bei ungenügender äußerer Form erfolgt zunächst keine Korrektur!								OK? <input type="checkbox"/>	
					1. Abgabe		2. Abgabe		
Alle Teilversuche vollständig ausgewertet?					Ja	Nein	Ja	Nein	
Wurden immer korrekte Formeln angegeben und eigene Werte eingesetzt?					Ja	Nein	Ja	Nein	
Wurde immer eine Fehlerrechnung durchgeführt?					Ja	Nein	Ja	Nein	
Sind Endergebnisse immer angegeben und korrekt gerundet?					Ja	Nein	Ja	Nein	
Wurde immer eine aussagekräftige Diskussion geführt?					Ja	Nein	Ja	Nein	
Wurden alle Diagramme mit geeignetem Maßstab und Titel eingefügt?					Ja	Nein	Ja	Nein	
Enthalten die Diagramme alle Messwerte, Beschriftungen u. Konstruktionen?					Ja	Nein	Ja	Nein	
Sind ausgefülltes Deckblatt, Vorbereitung und Messprotokoll in der Abgabe enthalten?					Ja	Nein	Ja	Nein	
Auswertung erhalten am:									
Auswertung zurückgegeben am:									
Nacharbeit notwendig bis:					nicht möglich				
Abzug 0,2 Punkte pro Nacharbeit/angefangene 3 Tage Verspätung:					-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	
Wird eine der obigen Fragen bei der ersten Abgabe mit Nein beantwortet ist eine Nacharbeit erforderlich!									
Punkte:					Datum, Abtestat:				

Bitte bewahren Sie Ihre Hefte nach dem Praktikum unbedingt auf.

Auswertung und Protokoll

Zum Versuch STO

Jonas Müther & Alejandro Schultheiss

P1 Praktikum

LMU München
Physik B.Sc.
Deutschland
2026

Inhaltsverzeichnis

1 Vorbereitung	2
1.1 Versuchsvorbereitung und Grundlagen des Versuchs	2
2 Durchführung	3
2.1 Versuchsprotokoll	3
3 Auswertung	14
3.1 Teilversuch I: Flugweiten verschiedener Kugeln	14
3.2 Teilversuch II: Elastischer Stoß von Kugeln gleicher Masse	15
3.2.1 Theoretischer Hintergrund	15
3.2.2 Grafische Analyse der Landepunkte	15
3.2.3 Abweichung von der Theorie	17
3.3 Teilversuch III: Bewegungsanalyse mit Hochgeschwindigkeitskamera	22
3.4 Teilversuch IV: Bestimmung der Erdbeschleunigung	23
4 Anhang	24
4.1 Python Skripte	24
4.2 Verwendete Daten	24
4.2.1 TV I:	24
4.2.2 TV II:	24
4.2.3 TV III:	24
4.2.4 TV IV:	24

Kapitel 1

Vorbereitung

1.1 Versuchsvorbereitung und Grundlagen des Versuchs

Kapitel 2

Durchführung

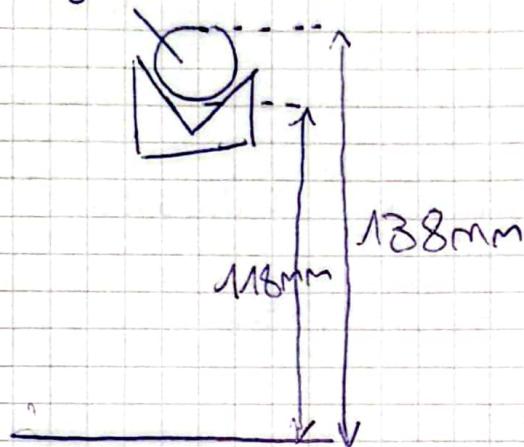
2.1 Versuchsprotokoll

(D)

Jonas Müthes, Alejandro Schultheiss

Teil I

$$d = 20\text{mm}$$



$$h_{\text{fall}} = 118 \text{ mm} \quad (\text{durchfallene Höhe})$$

Kugeldurchmesser

$$d_{1,1} = 20,00 \text{ mm} \quad (\text{Stahlkugel}) \quad \left. \right\} \text{Messdurchgang 1}$$

$$d_{2,1} = 16,30 \text{ mm} \quad (\text{Murmel})$$

$$d_{3,1} = 15,60 \text{ mm} \quad (\text{Plastikkugel})$$

$$d_{1,2} = 20,00 \text{ mm} \quad (\text{Stahlkugel}) \quad \left. \right\} \text{Messdurchgang 2}$$

$$d_{2,2} = 16,40 \text{ mm} \quad (\text{Murmel})$$

$$d_{3,2} = 15,50 \text{ mm} \quad (\text{Plastikkugel})$$

$$d_{1,3} = 20,00 \text{ mm} \quad (\text{Stahlkugel}) \quad \left. \right\} \text{Messdurchgang 3}$$

$$d_{2,3} = 16,35 \text{ mm} \quad (\text{Murmel})$$

$$d_{3,3} = 15,70 \text{ mm} \quad (\text{Plastikkugel})$$

Kugeldurchmesser final: (inkl. Fehler)

Stahlkugel:

$$\langle d_1 \rangle = \frac{d_{1,1} + d_{1,2} + d_{1,3}}{3} = \frac{20,00\text{mm} + 20,00\text{mm} + 20,00\text{mm}}{3} = 20,00\text{mm}$$

Fehler des Messschreibers: $\pm 0,03\text{mm}$ (Wird im folgenden auf individuellen Messfehler aufaddiert)

$$\Rightarrow d_1 = 20,00\text{mm} \pm 0,03\text{mm}$$

Murmel:

$$\langle d_2 \rangle = \frac{d_{2,1} + d_{2,2} + d_{2,3}}{3} = \frac{16,30\text{mm} + 16,40\text{mm} + 16,35\text{mm}}{3} = 16,35\text{mm}$$

$$\Rightarrow 16,35\text{mm} \pm 0,08\text{mm}$$

Plastikkugel:

$$\langle d_3 \rangle = \frac{d_{3,1} + d_{3,2} + d_{3,3}}{3} = \frac{15,60\text{mm} + 15,50\text{mm} + 15,70\text{mm}}{3} = 15,60\text{mm}$$

$$\Rightarrow 15,60\text{mm} \pm 0,13\text{mm}$$

Zuordnung von Kennzeichnung und Material:

O - Kreis \cong Plastikkugel

X - Kreuz \cong Stahlkugel

Ohne Kennzeichnung \cong Murmel

Fehlerschätzung beim Abschlagen des Schienen-elements:

Wir schätzen den Fehler auf 1,5mm (Stiftspitzenbreite)

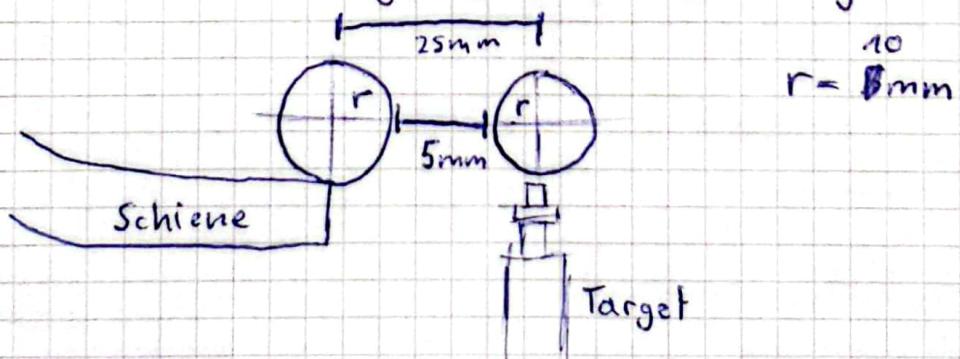
Wir entscheiden uns für die Stahlkugel, aufgrund der hohen ~~Konsistenz~~ bzw. höchsten Konsistenz der Auf treffpunkte, relativ zu den anderen Kugeln.

Wir nehmen an, dass dies aus der höchsten Trägheit (relativ zu den anderen Kugeln) und dem gleichmässigstem Radius (rel. zu den andern Kugeln) resultiert.

↳ siehe vorherige Seite

Teil II:

Um den Abstand auf 5mm (zwischen Schiene und Targetgestell) zu bringen, haben wir uns das anhand folgender Skizze überlegt:



Wir haben den Abstand zwischen Schiene und Target auf 25mm eingestellt.

Einstellung Mikrometerschraube: 0,45

Teil III:

Wir benutzen die Stahlkugel
mit Durchmesser $d = \textcolor{blue}{\cancel{20}} \text{ mm}$.

Für die Kugel ergibt sich ein
Durchmesser inkl. Fehler von:

$$d = 20,00 \text{ mm} \pm 0,003 \text{ mm}$$

(S. vorherige Seite)

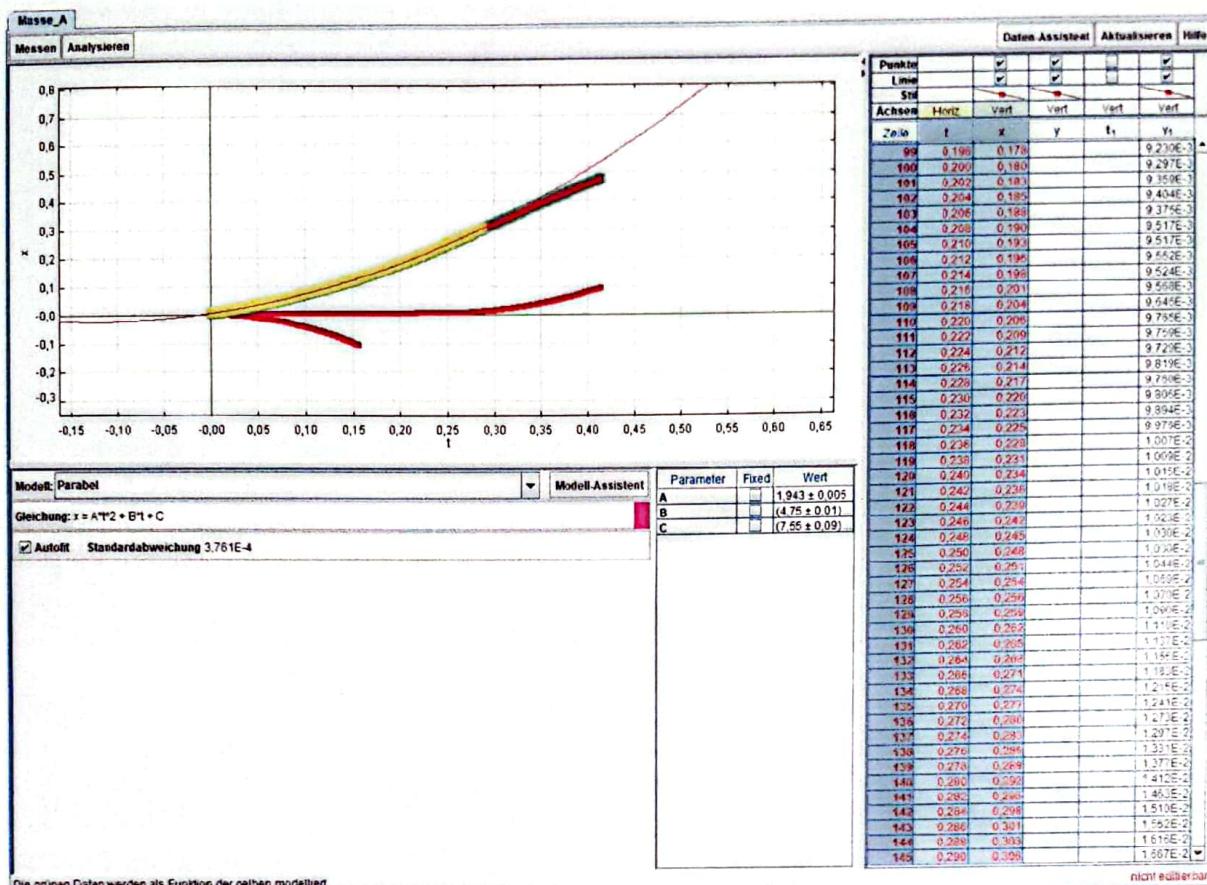
Video 1, welches das Herabrollen der Kugel
zeigt, haben wir wie folgt genannt:

"Jonas-Alejandro-1.avi"

Video 2, welches ~~die~~ den waagerechten
Wurf zeigt, haben wir wie folgt genannt:

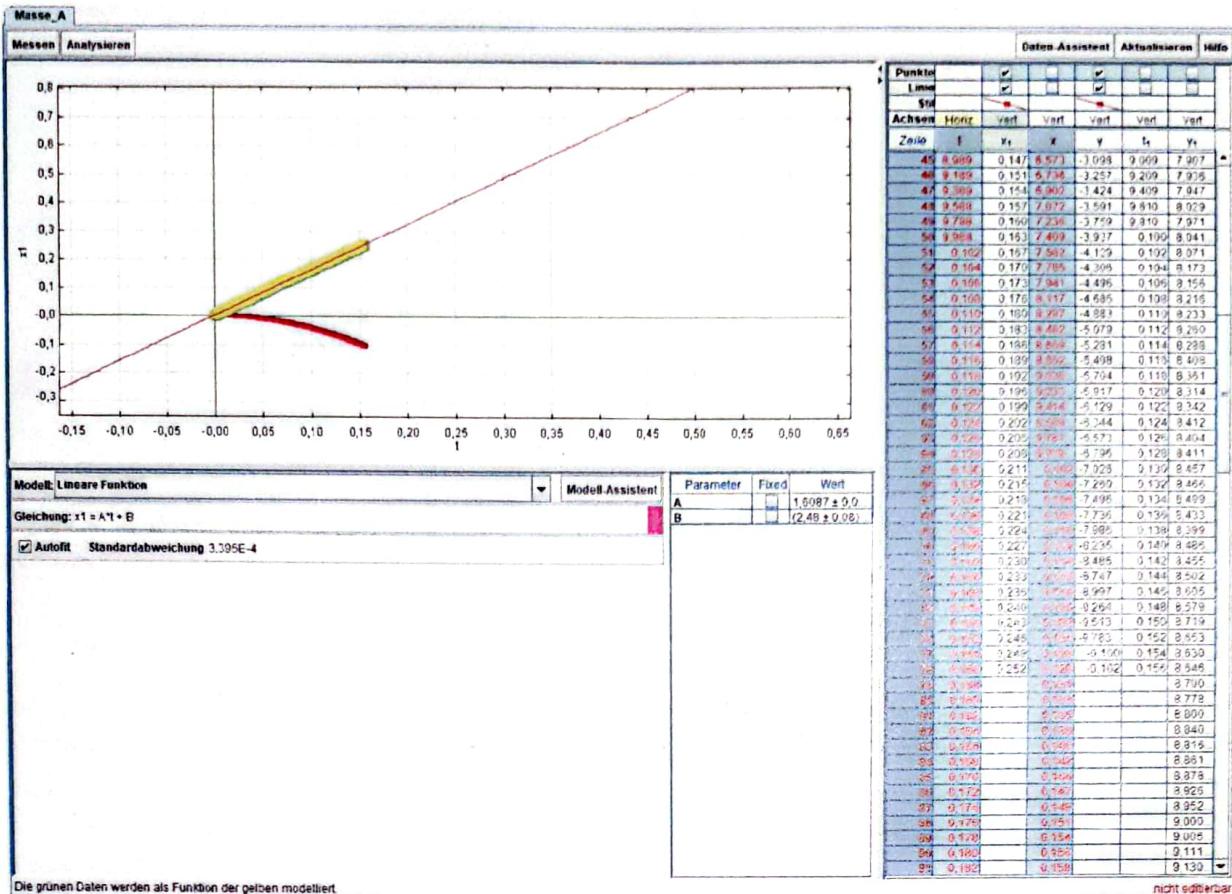
"Jonas-Alejandro-².avi"

Jonas-Alejandro-1.avi

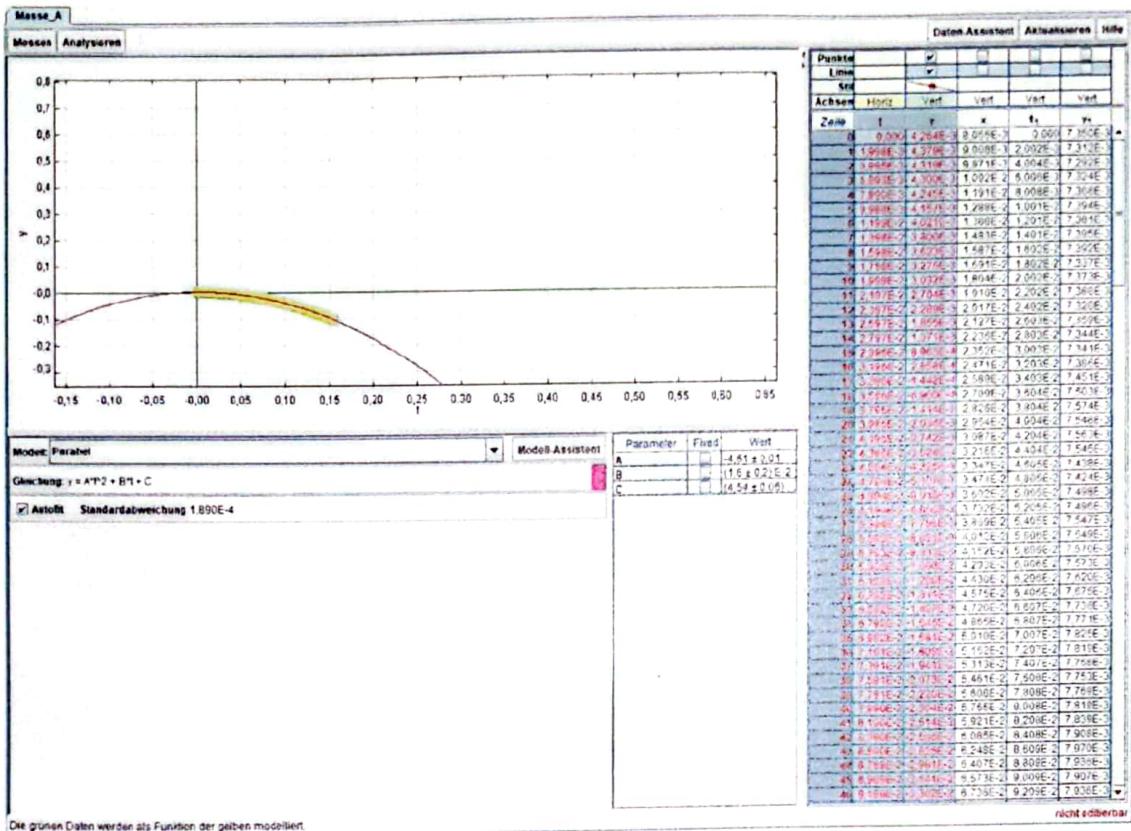


$$\frac{1}{2} \hat{a} = 1,943 \pm 0,005 \Rightarrow a = 3,886 \pm 0,01$$

$$\hat{u} = B = 4,75 \pm 0,01$$



Jonas_Alejandro_2.avi



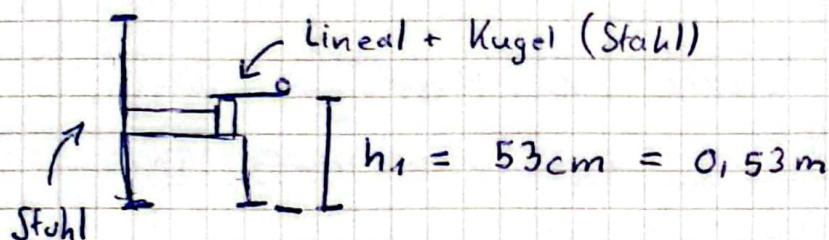
$$\frac{1}{2}g \hat{=} \text{Parameter } A = -4,61 \pm 0,01$$

$$\Rightarrow |g| = 9,22 \pm 0,02$$

Teil IV:

Folgende Höhen ziehen wir in Betracht:

Höhe 1:



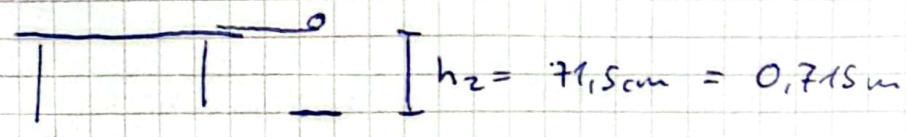
Inkl. Fehler: $0,53\text{m} \pm 0,003\text{m}$

Wir führen ~~8~~¹⁰ Messungen durch:

Anschlag mit Stift 1	Versuch 1	Fallzeit in s	Bemerkung (ggf.)	Schwelle: 0,1a.u.
	Versuch 2	0,104		Mind. Verzögerung: 0,18
	Versuch 3	0,346	Kuli wurde lang mitgeführt am Lineal	Hypothese
	Versuch 4	0,133		
	Versuch 5	0,334		
	Versuch 6	0,3309		
	Versuch 7	0,355		
	Versuch 8	0,340		
	Versuch 9	0,345		
	Versuch 10	0,342		

LMU München
Physikalische Praktika
Vor. Ich: <u>STO</u>
Datum: <u>23.02</u>
Betreuer: <u>Alexander Proschwitz</u>
Vorin

Höhe 2:



Inkl. Fehler: $0,715 \text{ m} \pm 0,003 \text{ m}$

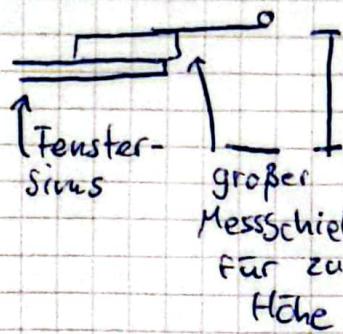
Wir führen wieder 10 Messungen durch:

	Fallzeit in s	Bemerkung (ggf.)
Versuch 1	0,400	
Versuch 2	0,396	
Versuch 3	0,393	
Versuch 4	0,396	
Versuch 5	0,396	
Versuch 6	0,394	
Versuch 7	0,398	
Versuch 8	0,401	
Versuch 9	0,391	
Versuch 10	0,387	

Wir passen · Schwelle an da bei 0,1 a.U.
der Obere Stop nicht registriert wird.

Mit Schwelle 0,03 a.U. wird der obere
Schlag registriert.

Höhe 3:



$$h_3 = 106,5 \text{ cm} = 1,06 \text{ m}$$

inkl. Fehler: $1,06 \pm 0,003 \text{ m}$

Wir führen 10 Messungen durch:

Versuch	Fallzeit in s	Bemerkung (ggf.)
Versuch 1	0,479	
Versuch 2	0,4775 0,476	
Versuch 3	0,421	
Versuch 4	0,477	
Versuch 5	0,489	
Versuch 6	0,477	
Versuch 7	0,469	
Versuch 8	0,478	
Versuch 9	0,476	
Versuch 10	0,483	

Schwelle bei 0,02 a. U.

Kapitel 3

Auswertung

3.1 Teilversuch I: Flugweiten verschiedener Kugeln

3.2 Teilversuch II: Elastischer Stoß von Kugeln gleicher Masse

3.2.1 Theoretischer Hintergrund

Im idealisierten Fall des Versuchsaufbaus liegen die Auftreffpunkte der Projektil- und Targetkugel unter Variation des Stoßparameters b jeweils auf Kreisbahnen. Der Mittelpunkt dieser Kreisbahnen liegt bei $\vec{M} = \vec{O} + \frac{1}{2}\vec{s}_{zentral}$, wobei $\vec{s}_{zentral}$ die Strecke zwischen Stoßpunkt \vec{O} und Auftreffpunkt der Targetkugel beim Zentralen Stoß beschreibt. Der Radius r_i dieser Kreisbahnen ist umgekehrt proportional zur Masse der jeweiligen Kugel m_i . Es gilt also:

$$\frac{r_{target}}{r_{projektil}} = \frac{m_{projektil}}{m_{target}}$$

Somit folgt für $m_{projektil} = m_{target}$, dass die Auftreffpunkte der Kugeln auf dem selben Kreis liegen. In unserem Fall mit Kugeln gleicher Masse gilt zudem für den Auftreffpunkt des Flugs ohne Stoß: (*Dieser muss noch um den Abstand zwischen Rampenende und Stoßursprungspunkt O von 2,5cm vergrößert werden*)

$$\vec{s}_{flug} = \vec{s}_{zentral}$$

und damit:

$$\vec{M} = \vec{O} + \frac{1}{2}\vec{s}_{flug}$$

3.2.2 Grafische Analyse der Landepunkte

Um die Landepunkte zu visualisieren, wurden die mittleren Landepunkte der Projektil- und Targetkugel bei Variation des Stoßparameters b ausgemessen und in Abbildung 3.1 dargestellt. Hierzu wurden die jeweiligen durchschnittlichen Landepunkte sowie deren Unsicherheiten mithilfe eines Python-Skripts (matplotlib) in ein Koordinatensystem eingezeichnet. Die Kreise um die Landepunkte der Kugeln stellen diese Unsicherheiten dar, welche sich hauptsächlich aus folgenden Aspekten zusammensetzt:

- Streuung der Landepunkte über 4 Durchgänge
- Ungenauigkeit des Abtragens des Rampenendes
- Messungenauigkeit durch das manuelle Ausmessen mithilfe eines Lineals
- Ungenauigkeit beim Schätzen des jeweiligen durchschnittlichen Landepunkts

Zusätzlich wurde die theoretisch vorhergesagte Kreisbahn eingezeichnet.

Anmerkung: Da die Projektilkugel für $b = 0$ auf der Vorrichtung für die Targetkugel landet und dann zufällig abprallt, wurde die Koordinate des Projektils für $b = 0$ auf den theoretischen Wert von (0, -2) korrigiert.

Landepunkte der Kugeln

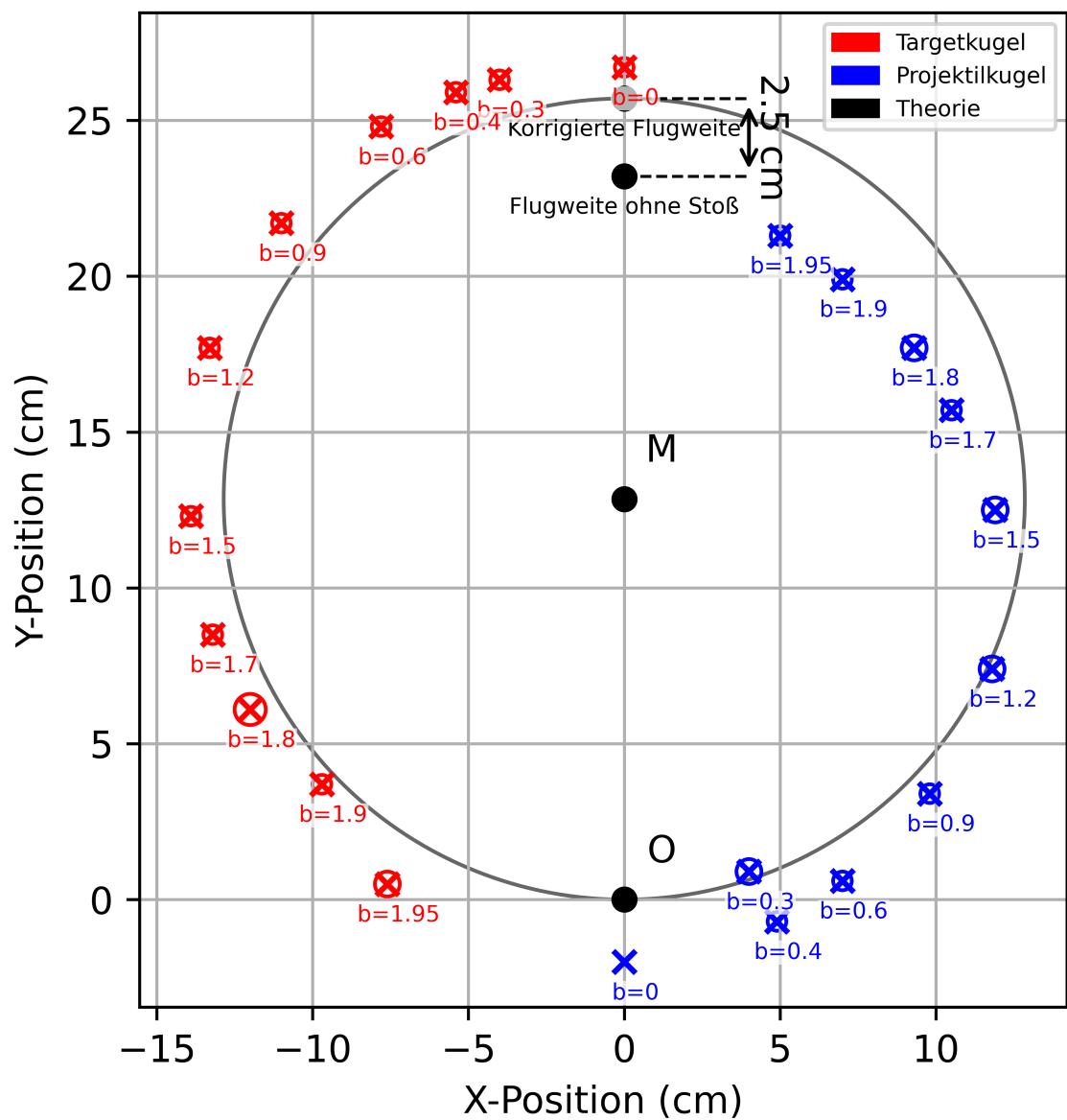


Abbildung 3.1: Landepunkte der Projektil- und Targetkugel bei Variation des Stoßparameters b

3.2.3 Abweichung von der Theorie

Es ist zu erkennen, dass die bestimmten Landepositionen der Projektil- und Targetkugel tatsächlich annähernd auf Kreisbahnen liegen. Jedoch stimmen diese Kreisbahnen nicht vollständig mit der theoretischen Vorhersage überein.

Zunächst fällt auf, dass der Landepunkt der Projektilkugel für $b = 0,3\text{cm}$ stark in y-Richtung von der Kreisbahn abweicht, die durch die anderen Messwerte bestimmt wird. Hier ist davon auszugehen, dass dieser Fehler, wie auch für $b = 0$ durch ein abprallen der Kugel von der Haltevorrichtung für die Targetkugel verursacht wurde. Physikalisch deutlich interessanter ist allerdings die generelle Abweichung der Kreisbahnen von Target- und Projektilkugel von der Theorie. Für diese Abweichung gibt es mehrere Ursachen, von welchen hier die relevantesten diskutiert werden sollen.

Abweichung durch endliche Radien der Kugeln

Aufgrund der endlichen Radien der Kugeln findet der Stoß der Kugeln nicht im Punkt O statt. Wie man mithilfe von Abbildung 3.2 erkennen kann ist der Startpunkt der Kugeln abhängig vom Stoßparameter b verschoben.

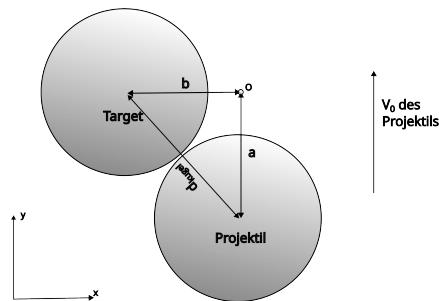


Abbildung 3.2: Abweichung der Startpunkte der Kugeln von Punkt O aufgrund der endlichen Radien der Kugeln

Entsprechend dieser Grafik müssen die gemessenen Landepunkte des Targets um b in x-Richtung und um $a = \sqrt{d_{\text{kugel}}^2 - b^2}$ in y-Richtung korrigiert werden. Diese Korrektur wurde in der folgenden Grafik 3.3 wieder mithilfe des Python-Skripts für jeden Landepunkt durchgeführt. *Anmerkung: In der Grafik wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit nur die Mittelwerte angepasst, die Messungenauigkeit der Originalwerte gilt allerdings natürlich weiterhin.*

Landepunkte der Kugeln

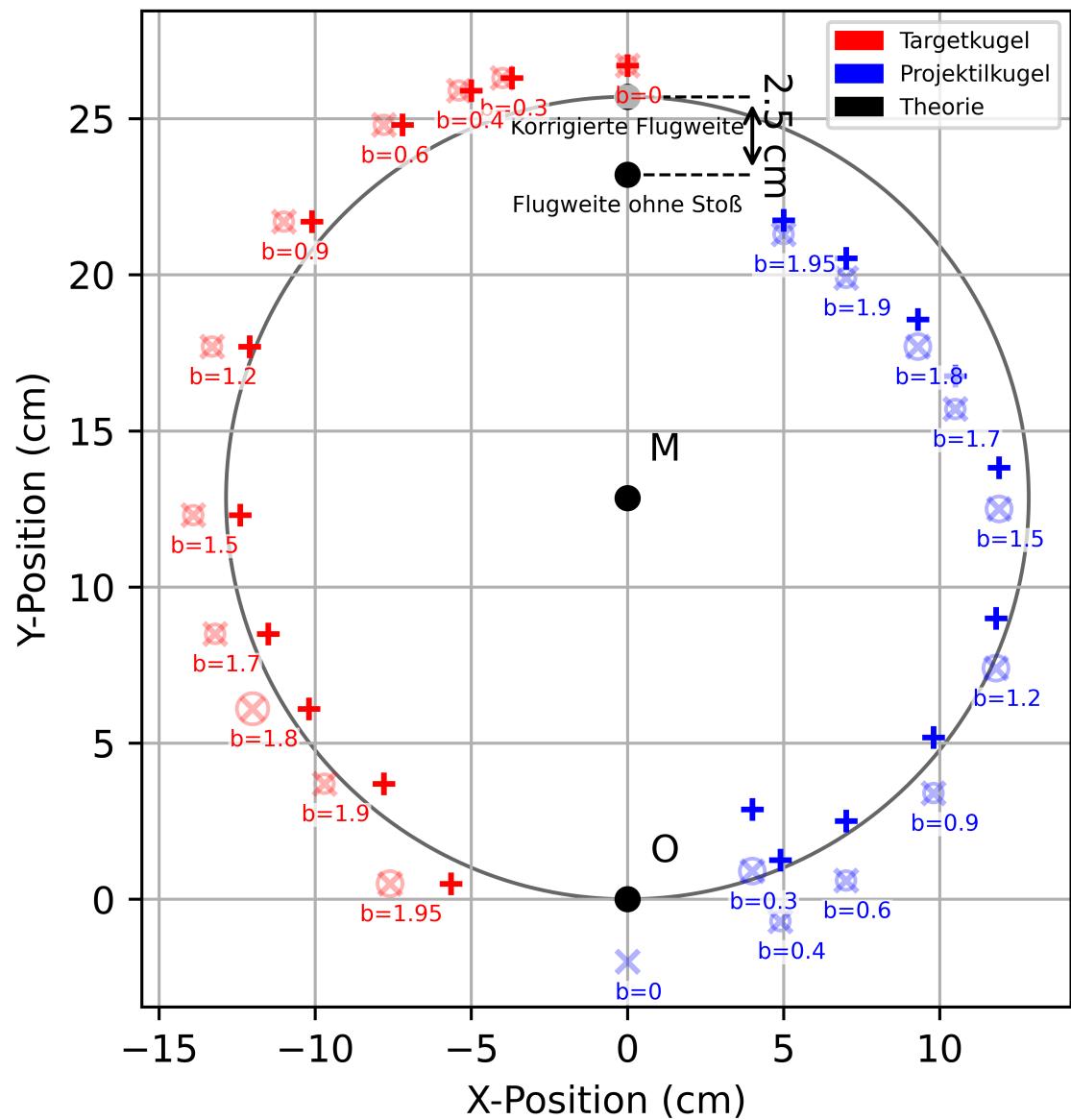


Abbildung 3.3: Abweichung der Startpunkte der Kugeln von Punkt O aufgrund der endlichen Radien der Kugeln

In der Grafik 3.3 ist zu erkennen, dass diese korrigierten Landepunkte bereits deutlich besser mit der theoretischen Vorhersage übereinstimmen. Insbesondere für große Stoßparameter b liegen die korrigierten Landepunkte der Projektilkugel allerdings immer noch relativ deutlich von der Theorie entfernt, was darauf hindeutet, dass es noch weititere Fehlerquellen gibt, die diese Abweichung verursachen. Bestimmt man die Abweichung in Abhängigkeit von b mithilfe eines weiteren Python Skripts, so ergibt sich ein Verlauf in Abhängigkeit des Stoßparameters b , wie er in Abbildung 3.4 dargestellt ist.

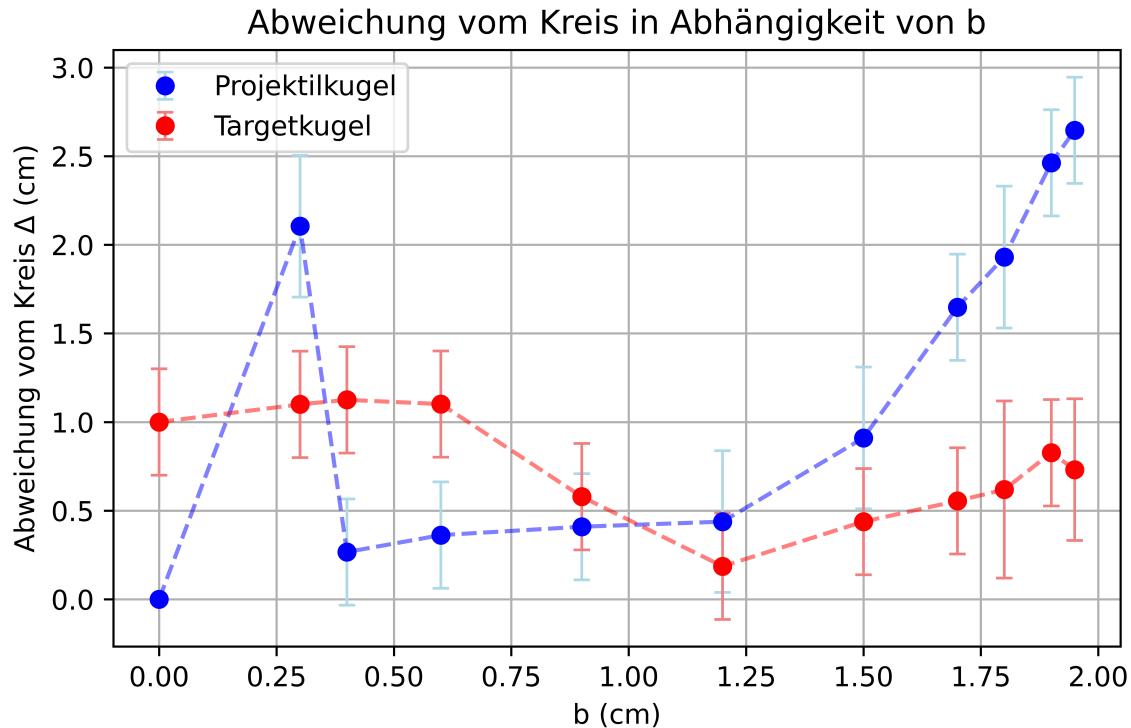


Abbildung 3.4: Abweichung der korrigierten Landepunkte der Kugeln von der theoretischen Vorhersage

Beobachtet man diesen Verlauf, so fällt auf, die Abweichung der Landepunkt der Targetkugel keine eindeutige Tendenz aufweist. Die Abweichung der Landepunkte der Projektilkugel hingegen nimmt (unter vernachlässigung des Ausreißers für $b = 0,3\text{cm}$) mit zunehmendem Stoßparameter b zu.

Abweichung durch Reibung und Abstand zwischen Rampe und Projektilhalterung

Grafik 3.4 zeigt insbesondere, dass die Abweichung der Landepunkte der Projektilkugel vom theoretischen Verlauf mit zunehmendem Stoßparameter b deutlich zunimmt. Dies liegt vermutlich unter anderem daran, dass die Gleitreibung während des Stoßes eine große Rolle spielt. Diese führt dazu, dass die Kugeln, welche mit zunehmendem Stoßparameter b länger aneinander entlang gleiten, stärker abgebremst werden und so eine geringere Flugweite erreichen.

Hinzu kommt, dass infolge der Geometrie des Versuchsaufbaus das Projektil für größere Stoßparameter eine größere Strecke zwischen Rampe und Targetkugel unter Einfluss der Erdbeschleunigung zurücklegt, bevor es die Targetkugel trifft. Dies führt dazu, dass die Targetkugel tiefer getroffen wird (Siehe Abbildungen 3.5 und 3.6), was dazu führt, dass die Projektilkugel eine größere Komponente in negative z-Richtung erhält. Hierdurch verkürzt sich die Flugweite, weshalb der Fehler mit zunehmendem Stoßparameter b zunimmt.

Diese Effekte erklären auch, weshalb die Abweichung für die Targetkugel mit zunehmendem Stoßparameter b keine eindeutige Tendenz aufweist. Zwar ist auch die Targetkugel von der Gleitreibung betroffen, was eine Verkürzung der Flugweite verursacht, allerdings wirkt für die Targetkugel der Effekt, tiefer getroffen zu werden in entgegengesetzter Richtung. Da die targetkugel durch einen tieferen Treffer eine größere Komponente in positive z-Richtung erhält, verlängert sich die Flugweite. Dadurch könnte es dazu kommen, dass die beiden Effekte sich teilweise gegenseitig aufheben, wodurch keine eindeutige Tendenz der Abweichung erkennbar wird.

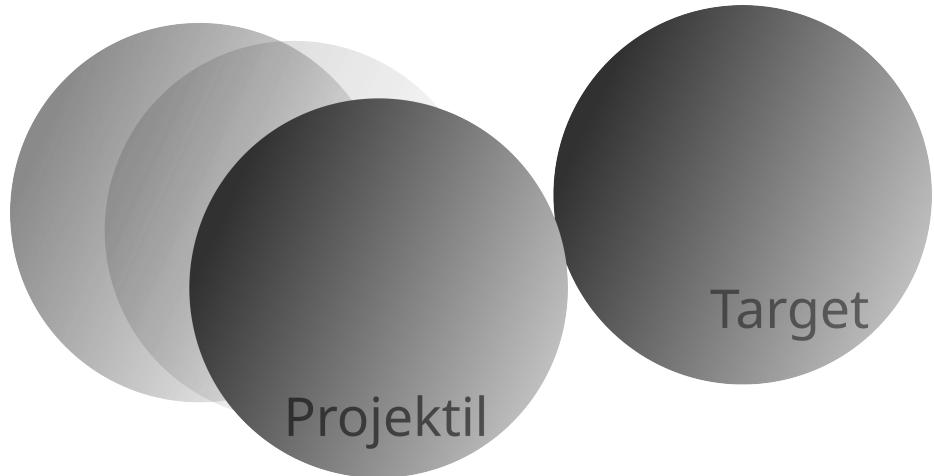


Abbildung 3.5: Stoßhöhe für $b = 0$

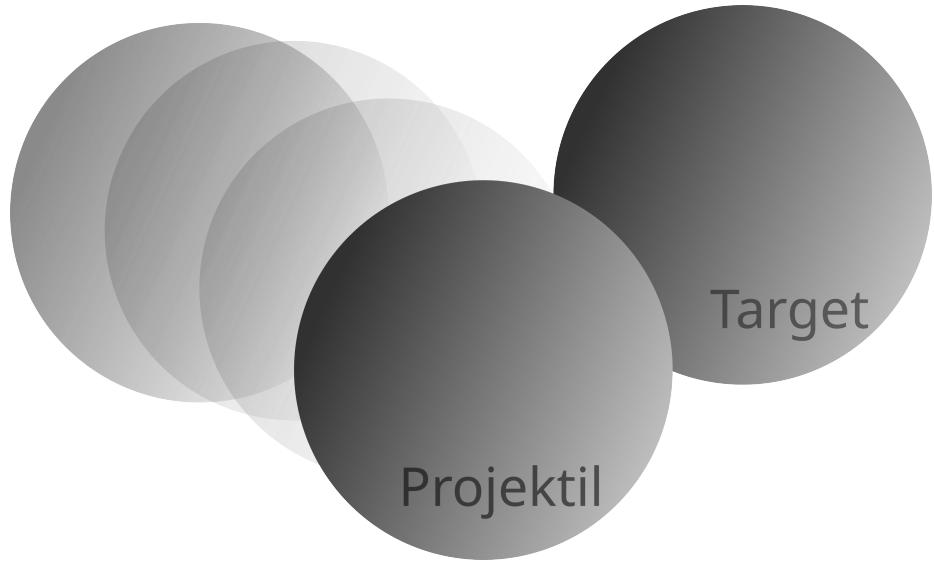


Abbildung 3.6: Stoßhöhe für $b > 0$

3.3 Teilversuch III: Bewegungsanalyse mit Hochgeschwindigkeitskamera

3.4 Teilversuch IV: Bestimmung der Erdbeschleunigung

Kapitel 4

Anhang

4.1 Python Skripte

4.2 Verwendete Daten

4.2.1 TV I:

4.2.2 TV II:

Die folgenden Daten sind alle in cm angegeben.

Stossparameter b	Datensatz Projekttil				Datensatz Target			
	x_p	y_p	y_p^{corr}	Δr_p	x_t	x_t^{corr}	y_t	Δr_t
0.00	0.0	-2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.7	0.3
0.30	4.0	0.9	2.9	0.4	-4.0	-3.7	26.3	0.3
0.40	4.9	-0.7	1.3	0.3	-5.4	-5.0	25.9	0.3
0.60	7.0	0.6	2.5	0.3	-7.8	-7.2	24.8	0.3
0.90	9.8	3.4	5.2	0.3	-11.0	-10.1	21.7	0.3
1.20	11.8	7.4	9.0	0.4	-13.3	-12.1	17.7	0.3
1.50	11.9	12.5	13.8	0.4	-13.9	-12.4	12.3	0.3
1.70	10.5	15.7	16.8	0.3	-13.2	-11.5	8.5	0.3
1.80	9.3	17.7	18.6	0.4	-12.0	-10.2	6.1	0.5
1.90	7.0	19.9	20.5	0.3	-9.7	-7.8	3.7	0.3
1.95	5.0	21.3	21.7	0.3	-7.6	-5.7	0.5	0.4

4.2.3 TV III:

4.2.4 TV IV: