

Laborversuch

# M1 – Geschwindigkeit einer Pistolenkugel

13.12.2018

Windisch

---

Versuchsleiter: Burkhardt Simon

Assistent: Müller Dominik

Dozent: Minamisawa Renato

Grundlagenlabor 3 – EIT – HS2018

## Inhalt

1.	Theoretische Grundlagen zu den Messmethoden .....	3
1.1	Flugzeitmethode.....	3
1.2	Ballistische Methode .....	4
1.3	Drehstoss.....	6
1.4	Berücksichtigung des Luftwiderstandes.....	7
2.	Durchführung .....	8
2.1	Versuchsanordnung.....	8
2.2	Messvorgang .....	9
2.3	Proben Versuchsobjekt .....	9
2.4	Messungen .....	9
3.	Auswertung .....	10
3.1	mittlere Projektilgeschwindigkeit über Zeitmessung.....	10
3.2	Ballistische Methode – Auftreffen auf Pendel .....	11
3.3	Drehimpulserhaltung mit Hantel.....	14
3.4	Korrektur der Luftreibung .....	15
4.	Fehlerrechnung .....	16
4.1	Fehlerquellen.....	16
4.2	Berechnung der statistischen Fehler.....	16
4.3	Berechnung des gesamten Fehlers der ballistischen Methode .....	17
5.	Resultate und Diskussion .....	18
5.1	Resultate der einzelnen Messmethoden .....	18
6.	Anhang.....	19

## 1. Theoretische Grundlagen zu den Messmethoden

Bei diesem Versuch werden vier verschiedene Messmethoden zur Bestimmung der Geschwindigkeit einer Pistolenkugel angewandt und miteinander verglichen. Nachfolgend werden die Grundlagen zu den vier Methoden erläutert.

### 1.1 Flugzeitmethode

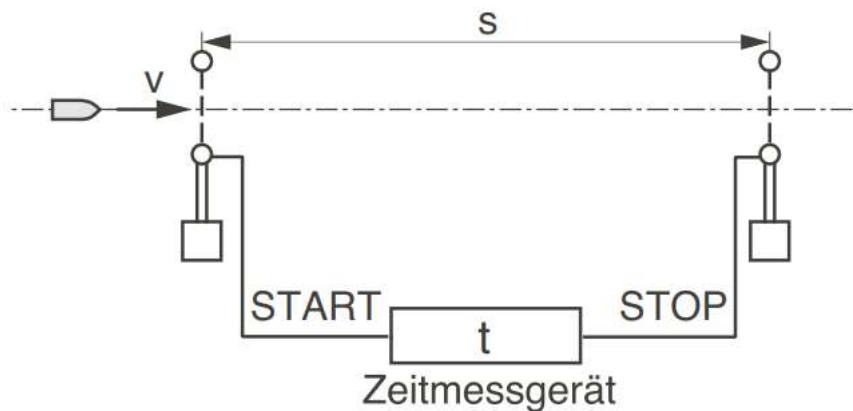


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Zeitmessung mit zwei Lichtschranken

Die einfachste Messmethode ist, die durch die Messung der Flugzeit ermittelte mittlere Geschwindigkeit des Projektils. Die Zeit wird mit zwei Schranken gestoppt. Diese Schranken können Lichtschranken oder induktive Geber sein. Die Abbildung 1 veranschaulicht schematisch den Versuchsaufbau.

$$\bar{v} = \frac{s}{t_{stop} - t_{start}} = \frac{s}{\Delta t} \quad (1.1)$$

Beschreibung	Formelzeichen	Einheit
mittlere Geschwindigkeit	$v$	$m/s$
Abstand zwischen den Lichtschranken	$s$	$m$
Startzeit	$t_{start}$	$s$
Stopzeit	$t_{stop}$	$s$

## 1.2 Ballistische Methode

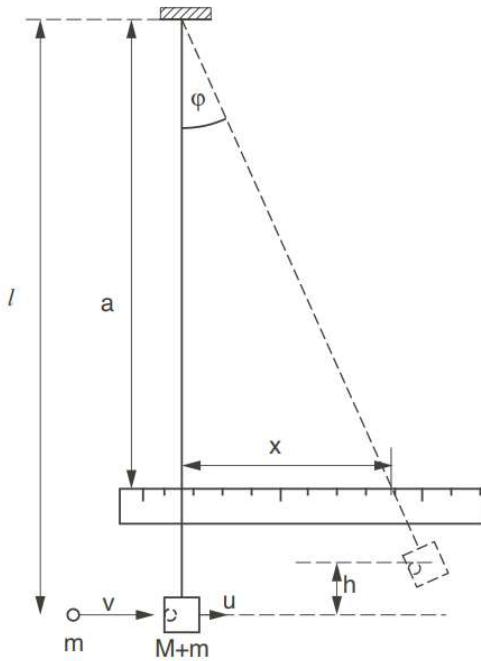


Abbildung 2: Schematischer Aufbau des Massenpendels mit auftreffendem Projektil

Bei der ballistischen Methode wird der Impuls  $m*v$  des Projektils durch den Aufprall in ein Pendel in einen weiteren Impuls umgewandelt. Ein Grossteil der Energie geht jedoch in die Deformation des Pendels (Reibung) hinüber. Somit kann der Energiesatz nicht ohne weiteres angewandt werden. Die folgenden Formeln beziehen sich auf die Größen aus der obigen Abbildung 2.

$$p = m * v = (m + M) * u \quad (1.2)$$

$$u = \sqrt{2 * g * h} \quad (1.3)$$

Durch Trigonometrie erhält man für  $h$ :

$$h = l * (1 - \cos \varphi) \quad (1.4)$$

$$\cos \varphi = \frac{a}{\sqrt{1 + \left(\frac{x}{a}\right)^2}} \quad (1.5)$$

Jedoch ist es in der Realität schwierig die Auslenkung und den Schwerpunkt des Pendels genau zu bestimmen. Darum kann auch die einfacher zu bestimmende Schwingungsdauer T verwendet werden, um die Geschwindigkeit zu messen.

$$u = \frac{g}{2\pi} * T * \sqrt{s * \left( 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{x}{a} \right)^2}} \right)}$$
(1.6)

Beschreibung	Formelzeichen	Einheit
Aufprallgeschwindigkeit des Projektils	$v$	$m/s$
Auslenkungsgeschwindigkeit des Pendels	$u$	$m/s$
Masse des Projektils	$m$	$kg$
Masse des Pendels	$M$	$kg$
Vertikale Auslenkung des Pendels (Hubhöhe)	$h$	$m$
Länge des Pendels	$l$	$m$
Auslenkungswinkel	$\varphi$	$^\circ$
Abstand des Horizontalmeters zur Pendelaufhängung	$a$	$m$
Gemessene horizontale Auslenkung des Pendels	$x$	$m$
Schwingungsdauer (Periode)	$T$	$s$
Erdbeschleunigung	$g$	$m/(s^2)$

Die Erdbeschleunigung in Windisch beträgt  $g = 9.81 \frac{m}{s^2}$

Die Formel (1.6) lässt sich in eine Taylorreihe entwickeln.

$$v = \frac{g}{2\pi} * T * \frac{M+m}{m} * \frac{x}{a} * \left[ 1 - \frac{3}{8} * \left( \frac{x}{a} \right)^2 \right]$$
(1.7)

### 1.3 Drehstoss

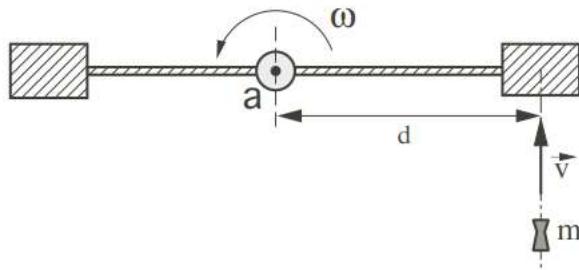


Abbildung 3: Schematische Darstellung einer drehbar gelagerten Hantel

Das Projektil unmittelbar vor Auftreffen auf die Hantel kann als Drehimpuls mit Radius d betrachtet werden.

$$L_{Kugel} = m * d * v \quad (1.8)$$

Dieser Drehimpuls wird beim Aufschlagen auf die Hantel übertragen. Danach hat die Hantel den Drehimpuls:

$$L_{Hantel} = (I_{a,H} + m * d^2) * \omega = (J_S + m * d^2) * \frac{\pi}{(T/2)} \quad (1.9)$$

$$v = \frac{I_{a,H} + m * d^2}{m * d} * \omega = \left( \frac{I_{a,H}}{m * d} + d \right) * \frac{\pi}{(T/2)} \quad (1.10)$$

$$\begin{aligned} I_{a,H} &= 2 * I_{Zylinder} + I_{Drehgestell} \\ I_{a,H} &= 2 \left( \frac{1}{4} M * r^2 + \frac{1}{12} M * l^2 + M * R^2 \right) + I_0 \end{aligned} \quad (1.11)$$

Beschreibung	Formelzeichen	Einheit
Drehimpuls der Hantel	$L_{Hantel}$	
Massenträgheitsmoment der Hantel	$I_{a,H}$	
Masse des Projektils	$m$	$kg$
Masse des Zylinders	$M$	$kg$
Abstand zum Einschlagspunkt	$d$	$m$
Radius der Hantelzylinder	$r$	$m$
Radius Drehlager, Hantelzyllindermitte	$R$	$m$
Umlaufperiode der Hantel	$T$	$Hz$

## 1.4 Berücksichtigung des Luftwiderstandes

Die beiden Messmethoden berücksichtigen keine Luftreibung, die bei den erwarteten Geschwindigkeiten einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss haben. Die allgemeine Formel für den Luftwiderstand (Kraft) ist:

$$F_L = \frac{1}{2} c_w * A * \rho_L * v^2 \quad (1.12)$$

Daraus kann eine Differentialgleichung gebildet werden. Die Anfangswerte sind  $s=0$  und  $v=v_0$ .

$$\begin{aligned} dE_{kin} &= -F_L ds \\ m * v * dv &= -\frac{1}{2} c_w * A * \rho_L * v^2 * ds \end{aligned} \quad (1.13)$$

Mit den Anfangsbedingungen löst sich die Differentialgleichung wie folgt auf:

$$v = v_0 * e^{-k*s} \quad (1.14)$$

$$k = \frac{c_w * A * \rho_L}{2m} \quad (1.15)$$

Da  $k*s$  vergleichsweise klein ausfallen, lässt sich die Geschwindigkeit folgendermassen annähern:

$$v \approx v * (1 - k * s) \quad (1.16)$$

Und die korrigierte Mündungsgeschwindigkeit beträgt dann:

$$v \approx \frac{v_{gemessen}}{1 - k * s} \quad (1.17)$$

Beschreibung	Formelzeichen	Einheit
Luftwiderstand	$F_L$	$N$
Luftwiderstandsbeiwert (Körperform)	$c_w$	-
Fläche die dem Luftstrom ausgesetzt ist	$A$	$m^2$
Luftdichte	$\rho$	$kg/m^3$
Projektilgeschwindigkeit	$v$	$m/s$
Masse des Projektils	$m$	$kg$
Flugstrecke	$s$	$m$

## 2. Durchführung

### 2.1 Versuchsanordnung

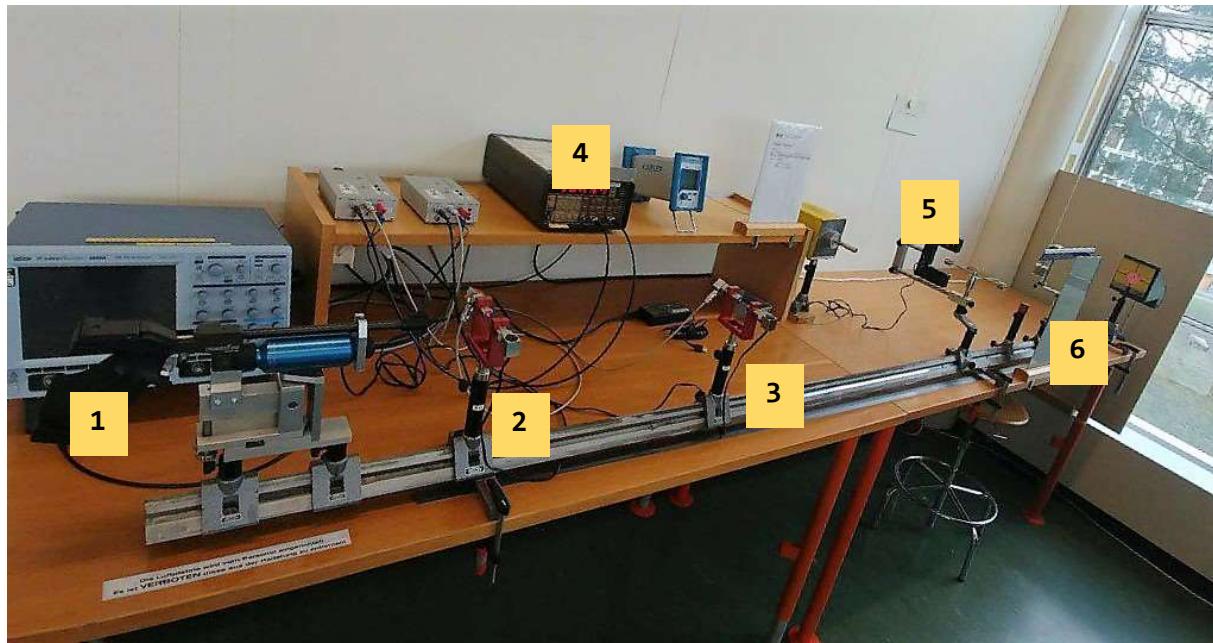


Abbildung 4: Versuchsaufbau

Nr	Gerät	Typ	Inventar	Fehler
1	Luftdruckpistole	Hämmerli 480	-	-
2	Lichtschranke 1	-	-	-
3	Lichtschranke 2	-	-	-
4	Lichtschrankenzeitmessung	KEITHLEY 775 Programmable Counter/Timer	P-P3-020	20ns
5	Lichtschranke Drehstoss	PHYWE 11207.08	-	1ms
6	Pendel	-	-	-
-	Stoppuhr	Banhart Profil 1	-	-
-	Waage	OHAUS Scout Pro SPU123	P-Z-122	-

## 2.2 Messvorgang

Das Pendel wird in die Ruhelage bei einem Ausschlag von 0.00m gestellt. Die Pistole wird mit einem Projektil geladen. Daraufhin wird ein Schuss ausgelöst und beim Auftreffen auf das Pendel sofort die manuelle Zeitmessung gestartet. Der erste Vollausschlag zählt als 1. Periode. Danach wird auf 5, 10, 15 und 20 Perioden gezählt und jeweils die Zeit und der Ausschlag gemessen. Vor dem Nachladen wird die Zeit der Lichtschranken ebenfalls erfasst.

Die Hantel wird in die Ruhelage, senkrecht zur Flugbahn eingestellt. Die Lichtschranke der Hantel auf 0 zurückgesetzt. Die Pistole wird mit einem Projektil geladen. Daraufhin wird ein Schuss ausgelöst und die beiden Zeitangaben bei der Lichtschranke und bei der Hantel erfasst.

## 2.3 Proben Versuchsobjekt

Als Versuchsobjekt dienen 24 Bleiprojektilen mit einer Masse von  $(0.46 \pm 0.02)g$ .

Konstante		Wert	Einheit
Erdbeschleunigung	g	9.81	$m/(s^2)$
Luftdichte	ρ	1.225	$kg/(m^3)$

## 2.4 Messungen

Im Gesamten wurden 3 Messungen durchgeführt.

1. Messung der Geschwindigkeit durch Messen des Pendelausschlags
2. Geschwindigkeitsmessung durch Messen der Drehgeschwindigkeit einer drehbar gelagerten Hantel
3. Messung der mittleren Geschwindigkeit mittels Lichtschranken (Diese Messung wurde gleichzeitig mit den Messungen 1 und 2 durchgeführt)

### 3. Auswertung

#### 3.1 mittlere Projektilgeschwindigkeit über Zeitmessung

Die am einfachsten und am zuverlässigsten zu messende Grösse ist die Projektillaufzeit zwischen den beiden Lichtschranken. Die **Abbildung 5** visualisiert die gemessenen Zeiten.

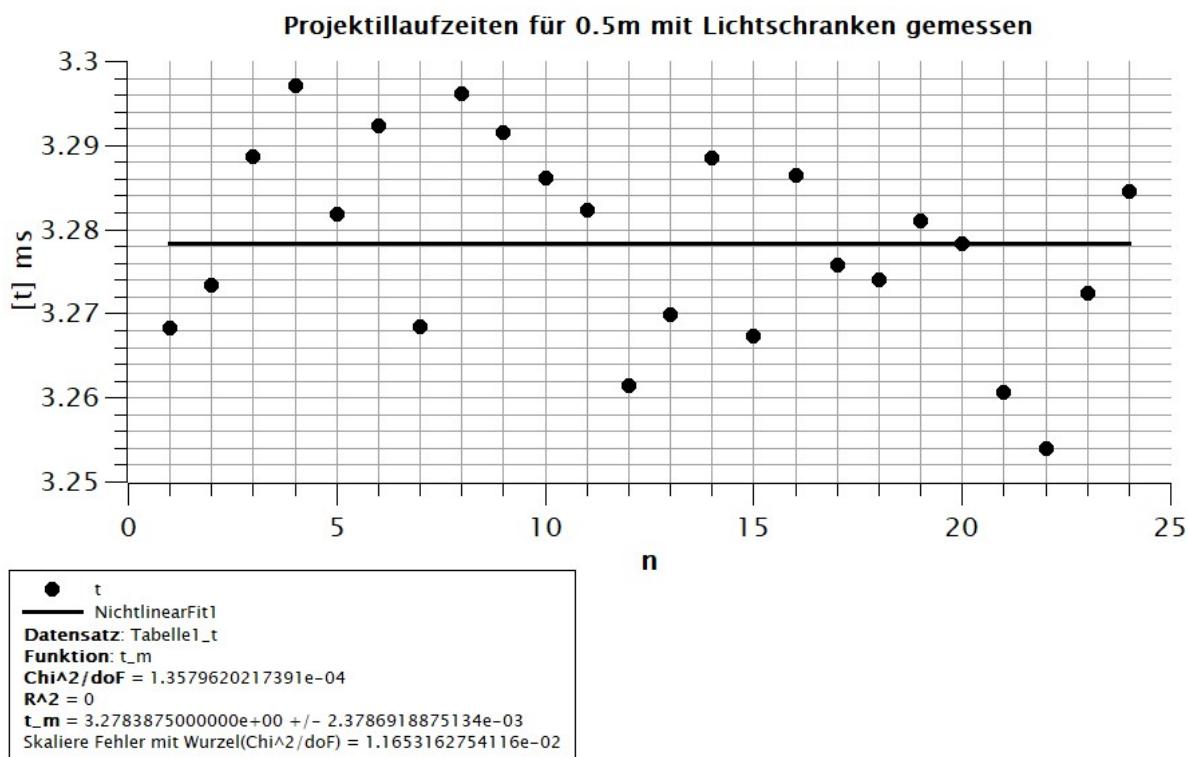


Abbildung 5: Verteilung und Fit der mittleren Projektillaufzeit für 24 Messungen

Die Lichtschranken waren auf der Vorrichtung bei den Distanzen 0.9m und 0.4m platziert. Der Abstand dazwischen ist somit  $s = 0.5m$ . Durch Anwenden der Formel (1.1) erhält man die mittlere Projektilgeschwindigkeit nach dem Austritt aus dem Lauf.

$$\bar{v} = \frac{s}{\Delta t} = \frac{0.5m}{3.2783875 * 10^{-3}s} = 152.514 \frac{m}{s}$$

### 3.2 Ballistische Methode – Auftreffen auf Pendel

Bei dieser Messmethode wurde jeweils bei der 5., 10., 15. und 20. Periode des Pendels der Maximalausschlag (Position) als auch die Zeit erfasst. Insgesamt sind 14 Messungen durchgeführt worden, davon sind 3 unbrauchbar. Für jede Periode wurde der Mittelwert aus den 11 übrigen Messungen bestimmt. Die Abbildung 6 zeigt eine von 4 Mittelwertbildung.

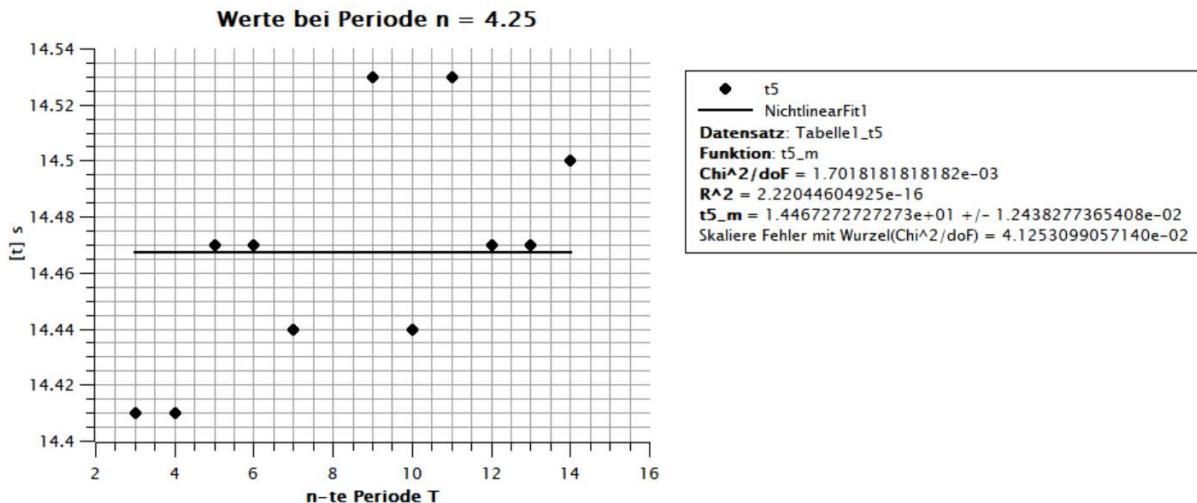


Abbildung 6: Mittelwertbildung für die Zeit durch Fitkurve an die Messwerte für die 4.25-te Periode

n-te Periode	4.25	9.25	14.25	19.25
$t_m$ [s]	14.46	28.84	43.28	57.69
$s_t$ [s]	$\pm 0.012438$	$\pm 0.014631$	$\pm 0.021110$	$\pm 0.014468$

Die untenstehende Abbildung 7 zeigt die Mittelwertbildung für die Auslenkung für die 4.25te Periode. Darunter sind die Mittelwerte für alle erfassten Perioden aufgelistet.

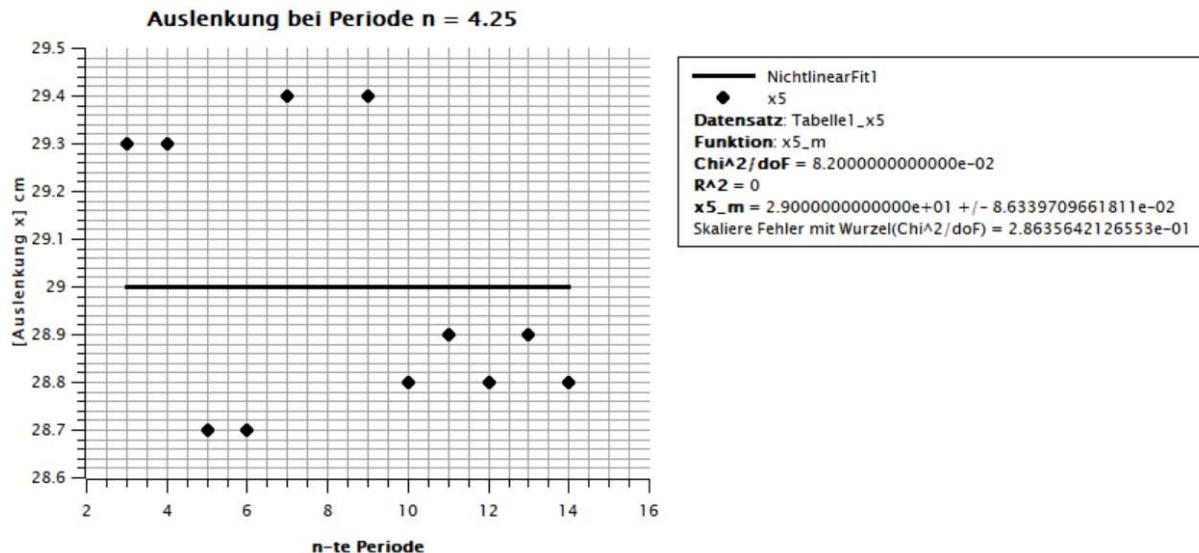


Abbildung 7: Mittelwertbildung für die Auslenkung des Pendels durch eine Fitkurve bei  $n = 5.25$  Perioden

n-te Periode	4.25	9.25	14.25	19.25
$x_m$ [cm]	29.00	27.44	25.67	24.41
$s_x$ [cm]	$\pm 0.086339$	$\pm 0.084501$	$\pm 0.014084$	$\pm 0.023333$

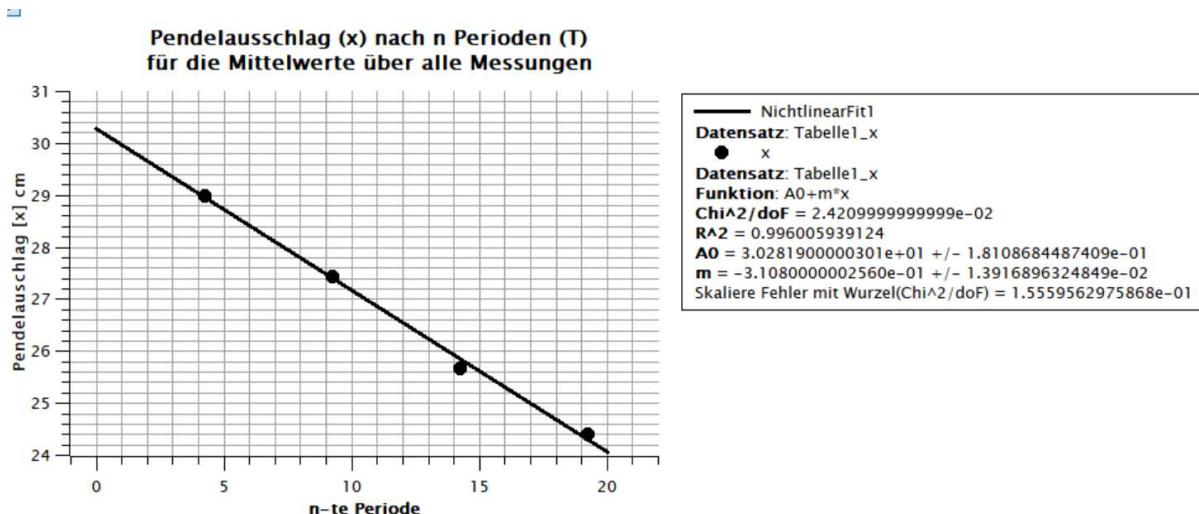


Abbildung 8: Fitkurve an die Mittelwerte der Pendelauslenkung

Die obige Abbildung 8 zeigt die Bildung des Initialausschlages  $A_0$  unter Verwendung einer Fitkurve an die zuvor gebildeten Mittelwerte.

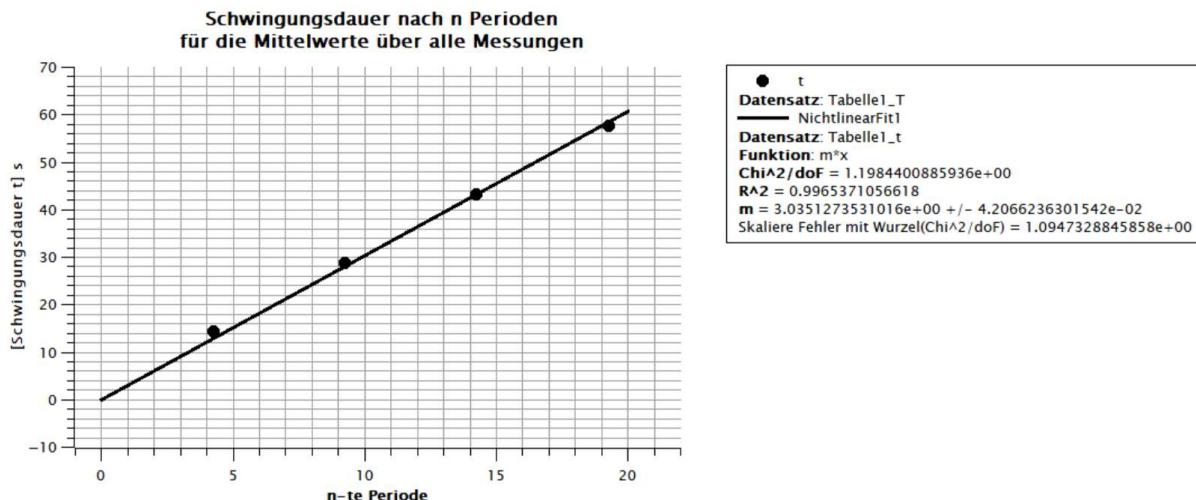


Abbildung 9: Fitkurve an die Mittelwerte der Schwingungsdauer

Die Abbildung 9 zeigt die Fitkurve an die zuvor aus allen Messwerten gebildeten Mittelwerte. Die Schwingungsdauer beträgt also  $(3.035127 \pm 0.042066)$  s

Beschreibung		Einheit	Wert
Aufprallgeschwindigkeit des Projektils	$v$	$m/s$	
Masse des Projektils	$m$	$kg$	$0.466 * 10^3$
Masse des Pendels	$M_1$	$kg$	$99.388 * 10^3$
Masse des Hackens	$M_2$	$kg$	$0.12 * 10^3$
Masse des Fadens	$M_3$	$kg$	$1 * 10^3$
Abstand des Horizontalometers zur Pendelaufhängung	$a$	$m$	$1.955$
Gemessene horizontale Auslenkung des Pendels	$x$	$m$	$A_0 = 0.302819$
Schwingungsdauer (Periode)	$T$	$s$	$3.035127$
Erdbeschleunigung	$g$	$m/(s^2)$	$9.81$

Mit der Formel (1.7) errechnet man nun die Geschwindigkeit v.

$$v = \frac{g}{2\pi} * T * \frac{M + m}{m} * \frac{x}{a} * \left[ 1 - \frac{3}{8} * \left( \frac{x}{a} \right)^2 \right]$$

$$v = \frac{9.81}{2\pi} * (3.035127) * \frac{(0.466 + 99.388 + 0.12 + 1) * 10^{-3}}{0.466 * 10^{-3}} * \frac{0.30282}{1.955} * \left[ 1 - \frac{3}{8} * \left( \frac{0.30282}{1.955} \right)^2 \right]$$

$$v = 157.6162 \text{ m/s}$$

## 3.3 Drehimpulserhaltung mit Hantel

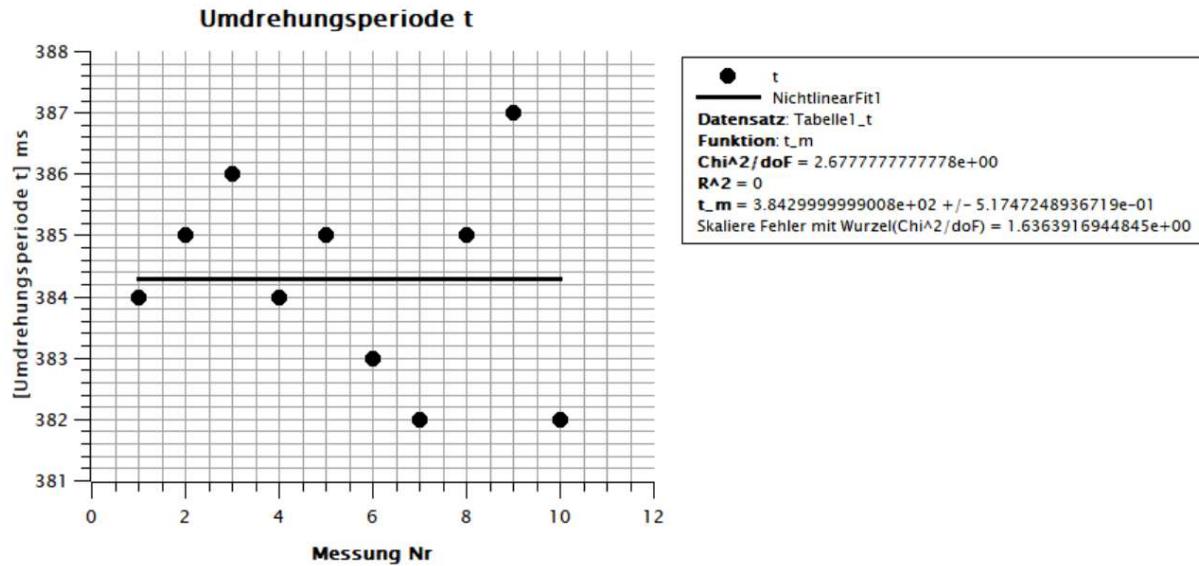


Abbildung 10: Mittelwertbildung der Umdrehungsperiode des Drehgestells

Mit dem resultierenden Mittelwert und der Formel 1.10 erhält man die mittlere Geschwindigkeit des Projektils.

$$v = 129.1231 \frac{m}{s}$$

### 3.4 Korrektur der Luftreibung

Hier wird der Einfluss der Luftreibung auf die berechneten Werte angewandt. Die detaillierte Berechnung ist im Matlab Script im Anhang aufgeführt.

Der Koeffizient  $k$  ist für alle Messungen gleich.

$$k = \frac{c_w * A * \rho_L}{2m} = \frac{0.75 * \left(\frac{4.5}{2}\right)^2 \pi * 1.225 \text{kg}}{2 * 4.6 * 10^{-3} \text{kgm}^3} = 0.0156$$

#### Lichtschranken

Objekt	Distanz (absolut)	
Laufende	0.301	m
Lichtschranke 1	0.4	m
Lichtschranke 2	0.9	m
Flugdistanz $d = (0.9\text{m} - 0.4\text{m}) - 0.301\text{m}$	0.199	m

Korrigierte Geschwindigkeit nach (1.17):

$$v = 152.9894 \text{ m/s}$$

#### Ballistische Methode

Objekt	Distanz (absolut)	
Laufende	0.301	m
Pendel Nullstellung	2.102	m
Flugdistanz $d = 2.102\text{m} - 0.301\text{m}$	1.801	

Korrigierte Geschwindigkeit nach (1.17):

$$v = 147.8156 \text{ m/s}$$

#### Drehstossprinzip

Objekt	Distanz (absolut)	
Laufende	0.301	m
Drehhantel Nullstellung	1.92	m

Flugdistanz  $d = 1.92\text{m} - 0.301\text{m}$

$$v = 129.5255 \text{ m/s}$$

## 4. Fehlerrechnung

Dieser Abschnitt behandelt die Diskussion über die Fehlerquellen der verschiedenen Messmethoden und dokumentiert die vollzogenen Fehlerrechnungen.

### 4.1 Fehlerquellen

Bei der Messung der mittleren Fluggeschwindigkeit wird aus Komplexitätsgründen auf eine detaillierte Fehlerrechnung verzichtet, und lediglich der statistische Fehler betrachtet.

Bei der Drehstossmethode werden ebenfalls nur die statistischen Fehler betrachtet.

Bei der ballistischen Methode kommen sehr viele Faktoren und Messgrößen zum Tragen. Bei näherer Betrachtung der Formel (1.7) sind dies folgende Größen: Die Erdbeschleunigung  $g$  wird als Konstant angenommen. Bei der Messung der Schwingungsdauer  $T$  kommt die Menschliche Reaktionszeit ins Spiel und spielt eine massgebende Rolle. Die Masse  $M$  des Pendels wird ebenfalls als Konstant betrachtet. Die Masse  $m$  des Projektils kommt an mehreren Stellen vor und schwankt von Projektil zu Projektil. Die Länge des Fadens bis zum Massstab  $a$  ist ebenfalls sehr gross und der Messfehler dieser wird als verschwindend klein angenommen. Jedoch ist die gemessene Auslenkung  $x$  wieder abhängig vom Menschlichen Auge und mit einem grossen Fehler behaftet.

Für die Fehlerrechnung werden also die drei Fehlerquellen der Größen  $T$ ,  $m$  und  $x$  betrachtet.

### 4.2 Berechnung der statistischen Fehler

Bei der mittleren Fluggeschwindigkeit wird der statistische Fehler der Zeitmessung mit der Berechnung der Geschwindigkeit und der Korrektur des Luftwiderstandes verrechnet und dabei jeweils die maximale und minimale Geschwindigkeit/Zeit ausgerechnet. Davon der Mittelwert und das Delta als Fehler gebildet (siehe Matlab Script im Anhang).

$$s_v = 111.0041 * 10^3 \text{ m/s}$$

Bei der Drehstossmethode wird mit dem gleichen Prinzip nur der statistische Fehler in die Geschwindigkeitsberechnung hineingezogen.

### 4.3 Berechnung des gesamten Fehlers der ballistischen Methode

Mit der folgenden Formel erhält man den Messfehler.

$$s_v = \sqrt{\left(\frac{\partial v}{\partial T} \Big|_{v_m} * s_T\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial m} \Big|_{v_m} * s_m\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x} \Big|_{v_m} * s_x\right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial T} \Big|_{v_m} * s_{Vstat}\right)^2}$$

$$v = \frac{g}{2\pi} * T * \frac{M+m}{m} * \frac{x}{a} * \left[1 - \frac{3}{8} * \left(\frac{x}{a}\right)^2\right]$$

Wobei:

Der Messfehler der Schwingungsdauer durch die menschliche Reaktionszeit:

$$\left(\frac{\partial v}{\partial T} \Big|_{v_m} * s_T\right)^2 = \left(\frac{g}{2\pi} * \frac{M+m}{m} * \frac{x}{a} * \left[1 - \frac{3}{8} * \left(\frac{x}{a}\right)^2\right] * s_T\right)^2 = 242.7116$$

Reaktionszeit Mensch  $s_T = 0.3s$

Der Messfehler der Projektilmasse:

$$\left(\frac{\partial v}{\partial m} \Big|_{v_m} * s_m\right)^2 = \left(\frac{g}{2\pi} * T * \left(\frac{1}{m} - \frac{M+m}{m^2}\right) * \frac{x}{a} * \left[1 - \frac{3}{8} * \left(\frac{x}{a}\right)^2\right] * s_m\right)^2 = 0.45339$$

Und der Ungenauigkeit der Masse  $s_m = 0.002g$

Der Messfehler der Auslenkung x:

$$\left(\frac{\partial v}{\partial x} \Big|_{v_m} * s_x\right)^2 = \left(\frac{3417249206555533 * g(M+m)(8a^2 - 9x^2)}{18014398509481984 * a^3 * m * \pi} * s_x\right)^2 = 6.529$$

Mit  $s_x = 0.005m$

Und dem statistischen Fehler der Schwingungsdauer T:

$$\left(\frac{\partial v}{\partial T} \Big|_{v_m} * s_{Vstat}\right)^2 = \left(\frac{g}{2\pi} * \frac{M+m}{m} * \frac{x}{a} * \left[1 - \frac{3}{8} * \left(\frac{x}{a}\right)^2\right] * s_{Vstat}\right)^2 = 0.001729$$

Mit  $s_{Vstat} = 0.65949 \text{ m/s}$  aus der Mittelwertberechnung

$$s_v = \sqrt{242.7116 + 0.45339 + 6.529 + 0.001729} = 37.7174 \frac{m}{s}$$

## 5. Resultate und Diskussion

### 5.1 Resultate der einzelnen Messmethoden

Nachfolgend sind alle Messresultate inklusive berechneter Fehler aufgelistet.

Methode	Geschwindigkeit ohne Luftreibung	Geschwindigkeit mit Luftreibung
Lichtschranke	$(152.5141 \pm 0.11066) \text{ m/s}$	$(152.9894 \pm 0.11100) \text{ m/s}$
Ballistisch (Pendel)	$(147.3564 \pm 37.7174) \text{ m/s}$	$(147.8156 \pm 37.7174) \text{ m/s}$
Drehstoss	$(129.1231 \pm 0.17387) \text{ m/s}$	$(129.5255 \pm 0.17387) \text{ m/s}$

Es wird deutlich, dass die ballistische Methode die ungenaueste Messmethode aller drei Versuche ist. Durch Betrachten der Fehlerrechnung auf der vorhergehenden Seite wird ersichtlich, dass der grösste Fehler durch die Reaktionszeit beim Messen der Zeit auftritt.

## 6. Anhang

Pendelversuch										
Nr	Periode									
	Lichtschranke	n = 4.25		n = 9.25		n = 14.25		n = 19.25		
	t [ms]	x [cm]	t [s]							
1	3.26833		14.50		28.85		43.28			
2	3.27346	29.30	14.44	27.60						
3	3.28875	29.30	14.41	27.60	28.78	25.70	43.28	24.40	57.66	
4	3.29715	29.30	14.41	27.40	28.75	25.60	43.16	24.40	57.68	
5	3.28179	28.70	14.47	27.40	28.85	25.70	43.28	24.40	57.63	
6	3.29234	28.70	14.47	26.70	28.85	25.60	43.28			
7	3.26846	29.40	14.44	27.70	28.82	25.70	43.18	24.60	57.66	
8	3.29624									
9	3.29161	29.40	14.53	27.40	28.91	25.70	43.37	24.40	57.75	
10	3.28614	28.80	14.44	27.40	28.82	25.70	43.22	24.40	57.63	
11	3.28233	28.90	14.53	27.70	28.91	25.70	43.28	24.40	57.75	
12	3.26144	28.80	14.47	27.40	28.85	25.70	43.28	24.40	57.66	
13	3.26988	28.90	14.47	27.70	28.85	25.70	43.35	24.40	57.72	
14	3.28852	28.80	14.50	27.40	28.87	25.60	43.37	24.30	57.72	
<b>Mittelwerte</b>		<b>29.00</b>	<b>14.47</b>	<b>27.44</b>	<b>28.84</b>	<b>25.67</b>	<b>43.28</b>	<b>24.41</b>	<b>57.69</b>	

Hantel Drehimpuls										
Nr	Lichtschranke									
	t [ms]	T/2 [ms]								
1	3.26736	384								
2	3.2864	385								
3	3.27584	386								
4	3.27402	384								
5	3.28109	385								
6	3.27842	383								
7	3.2607	382								
8	3.25395	385								
9	3.27248	387								
10	3.2846	382								

Hantel Gewichte										
Nr	Hantel Gewichte									
	Masse 1	m	42.113 g							
	Masse 2	m	42.733 g							
	Masse Stang	m	27.804 g							
	Durchmesser	d	172 mm							
	Länge Masse	l	20 mm							
	Distanz vom	x	6 mm							

## glaL3 – M1 Geschwindigkeit einer Pistolenkugel

Burkhardt Simon  
EIT HS2018

```

1 % glaL3_M1_Auswertung.m
2 %% Geschwindigkeit Lichtschanke
3 clear all; clc; format shorteng;
4
5 t_m = 3.2783875e-3;
6 st = (2.37869188e-3)*1e-3;
7 d = 0.5;
8 vm_licht = d/t_m
9 vmax = d/(t_m - st);
10 vmin = d/(t_m + st);
11 vm_licht = mean([vmax, vmin])
12 sv_licht = vmax - vm_licht
13
14 %% Geschwindigkeit mit Pendel
15 % gemessene Werte
16 clc;
17 g = 9.81;
18 M = (99.388 + 0.12 + 1)*1e-3;
19 m = 0.466e-3;
20 a = 1.955;
21 x = 0.302819;
22 T = 3.035127;
23
24 v = g/(2*pi) * T * (M+m)/m * x/a * (1 - 3/8*(x/a)^2);
25
26 Tmax = 2.83756 + 0.01266;
27 Tmin = 2.83756 - 0.01266;
28
29 vmax = g/(2*pi) * Tmax * (M+m)/m * x/a * (1 - 3/8*(x/a)^2);
30 vmin = g/(2*pi) * Tmin * (M+m)/m * x/a * (1 - 3/8*(x/a)^2);
31 vm_pendel = mean([vmax, vmin])
32
33 delta_vmax = vmax-v;
34 delta_vmin = v-vmin;
35 % sv = vmax-vm;
36 sv_pendel = vm_pendel-vmin      % absoluter Fehler
37
38 % v = vmean ± delta_abs
39 % (147.3564 ± 0.6574) m/s
40 %
41 % Berechnung des Massenträgheitsmoments der Hantel I_a,h
42 clc;
43
44 M = 0.01556; % Masse des Zylinders
45 R = 0.09; %
46 r = 0.0075;
47 I0 = 7.4*10^-5;
48
49 Iah = (7*M*r^2)/6 + 2*M*R^2 + I0
50 Iah = 2*(1/4*(M*r^2) + 1/12*(M*(2*r)^2) + M*R^2) + I0

51 % 327.0931e-006
52
53 %%
54 % Geschwindigkeit einer Kugel mit Drehst 104
55 clc;
56 Iah = 3.2709e-04;
57 m = 4.66e-4;
58 d = 0.0899;
59 T = 384.29999e-3;
60 st = (5.17472489367e-1)*1e-3;
61 w = 2*pi/T;
62
63 % v = ((Iah/(m*d))+d)*w
64 % 129.1229
65 vmax = ((Iah/(m*d))+d)*2*pi/(T-st);
66 vmin = ((Iah/(m*d))+d)*2*pi/(T+st);
67 vm_dreh = mean([vmax, vmin])
68 sv_dreh = vmax - vm_dreh
69
70 %%
71 % Einfluss des Luftwiderstandes
72 % Berechnung inkl. statistische Fehler
73 clc;
74 m = 4.68e-4;
75 d = 4.5e-3;
76 rho = 1.225;
77 cw = 0.75;
78
79 k = (cw * pi*(d/2)^2 * rho)/(2*m)
80 % 15.6112e-003
81
82 % Lichtschanke
83 disp("Lichtschanke")
84 s = (0.9-0.4)*301e-3;
85 vmax = (vm_licht + sv_licht)/(1-k*s);
86 vmin = (vm_licht - sv_licht)/(1-k*s);
87 vmk_licht = mean([vmax, vmin])
88 svk_licht = vmax - vmk_licht
89
90 % Ballistisch
91 disp("Ballistisch")
92 vmax = (vm_pendel + sv_pendel)/(1-k*s);
93 vmin = (vm_pendel - sv_pendel)/(1-k*s);
94 vmk_pendel = mean([vmax, vmin])
95 svk_pendel = vmax - vmk_pendel
96
97 % Drehstoss
98 disp("Drehstoss")
99 vmax = (vm_dreh + sv_dreh)/(1-k*s);
100 vmin = (vm_dreh - sv_dreh)/(1-k*s);

101 vmk_dreh = mean([vmax, vmin])
102 svk_dreh = vmax - vmk_dreh
103
104 %% statistische Fehler darstellen
105 clc;
106
107 disp("Lichtschanke:")
108 disp(strcat("vm = (" , num2str(vm_licht), " ± " , ...
109 num2str(sv_licht), ") m/s"))
110 disp(strcat("vm = (" , num2str(vmk_licht), " ± " , ...
111 num2str(svk_licht), ") m/s (korrigiert)"))
112 disp("Pendel / ballistisch:")
113 disp(strcat("vm = (" , num2str(vm_pendel), " ± " , ...
114 num2str(sv_pendel), ") m/s"))
115 disp(strcat("vm = (" , num2str(vmk_pendel), " ± " , ...
116 num2str(svk_pendel), ") m/s (korrigiert)"))
117 disp("Drehstoss:")
118 disp(strcat("vm = (" , num2str(vm_dreh), " ± " , ...
119 num2str(sv_dreh), ") m/s"))
120 disp(strcat("vm = (" , num2str(vmk_dreh), " ± " , ...
121 num2str(svk_dreh), ") m/s (korrigiert)"))

122 %% Fehlerrechnung
123 clear all; clc;
124 g = 9.81;
125 M = (99.388 + 0.12 + 1)*1e-3;
126 m = 0.466e-3;
127 a = 1.955;
128 x = 0.302819;
129 T = 3.035127;
130
131
132 sT = 0.3; % 300ms
133 sm = 0.002e-3; % g
134 sx = 0.005; % 0.5cm
135 sTstat = 0.65949;

136
137 s2T = ( g/(2*pi) * (M+m)/m * x/a * (1-3/8*(x/a)^2) * sT )^2
138 s2m = ( g/(2*pi) * T * ( 1/m - (m+M)/m^2 ) * ...
139 x/a * (1-3/8*(x/a)^2) * sm )^2
140 s2x = ((341724920655533*g*(M + m)*(8*a^2 - 9*x^2))/ ...
141 (18014398509481984*a^3*m*pi) *sx)^2
142 s2stat = ( g/(2*pi) * (M+m)/m * x/a * (1-3/8*(x/a)^2) * sTstat )^2
143
144 sv = sqrt( s2T + s2m + s2x + s2stat )
145
146
147
148
149
150

```