

Fakultät für Physik

**WINTERSEMESTER 2014/15**

**Physikalisches Praktikum 1**

**PROTOKOLL**

**Experiment (Nr., Titel):**  
2. Grundgrößen der Mechanik

**Datum:** 24.10.2014

**Namen:** Veronika Bachleitner, Erik Grafendorfer

**Kurstag/Gruppe:** Fr/1

**Betreuer:** SETMAN

# 1 Dichte von Flüssigkeiten

## 1.1 Aufgabenstellung

Wir bestimmen die Dichte einer Probeflüssigkeit mit verschiedenen Instrumenten.

## 1.2 Grundlagen und Methoden

Dichte  $\rho$ :  $[\rho] = \text{kg m}^{-3}$

Masse m:  $[m] = \text{kg}$

Volumen V:  $[V] = \text{m}^3$

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

### Pyknometer:

In ein Pyknometer kann man Flüssigkeiten mit einem sehr genau definierten Volumen einfüllen.

Das mit Probeflüssigkeit gefüllte Pyknometer wiegt man und zieht davon die Masse des leeren Pyknometers ab. Wird dasselbe mit destilliertem Wasser wiederholt, kann man aus der relativen Dichte die Dichte der Probeflüssigkeit bestimmen:

$$d = \frac{\rho_{\text{probe}}}{\rho_{\text{dest}}} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \quad (2)$$

wobei die Dichte des destillierten Wassers der Tabelle im Anleitungstext entnommen wird.

### Waage:

Die Dichte der Probeflüssigkeit wird mithilfe des Archimedischen Prinzips bestimmt:

Auf einen in ein Fluid eingetauchten Körper wirkt eine Auftriebskraft, die betragsmäßig mit dem Gewicht des vom Körper verdrängten Fluids übereinstimmt.  
*aus Wagner, Reischl, Steiner: Einführung in die Physik*

### Digitales Densitometer:

Das Densitometer gibt im Gegensatz zu den vorigen Messgeräten die Dichte direkt an. Sie muss also nicht erst berechnet werden.

Allerdings ist darauf zu achten, den Kolben zuerst einmal auszuspülen und erst beim zweiten Einspritzen die Messung durchzuführen.

### 1.3 Durchführung

Wir dachten, dass wir genau und ohne Ausreisser gemessen hatten - erst im Nachhinein fiel uns auf, dass wir einen Fehler gemacht haben mussten. Wir haben mit dem Pyknometer darauf geachtet, dass möglichst genau gleich viel von jeder Flüssigkeit im Pyknometer war, als wir sie wogen, indem wir überständige Flüssigkeit mit sehr saugfähigem und weichem Papier, auf dem auch eine Katze abgebildet war, absaugten.

### 1.4 Ergebnisse

#### Messung mit Pyknometer

$$\begin{aligned} m_0 &= 25.318 \text{ g} && \text{Masse des leeren Pyknometers bei } 23.2^\circ\text{C} \\ m_1 &= 77.501 \text{ g} && \text{Masse des Pyknometers mit destilliertem Wasser} \\ m_2 &= 79.507 \text{ g} && \text{Masse des Pyknometers mit Probeflüssigkeit} \end{aligned}$$

Die Dichte von destilliertem Wasser bei  $23.2^\circ\text{C}$  wurde der Tabelle im Anleitungstext entnommen:  $\rho_{dest} = 997.4887 \frac{\text{g}}{\text{dm}^3} = 0.9975 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

$$\begin{aligned} d &= \frac{\rho_{probe}}{\rho_{dest}} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \\ \rho_{probe} &= \rho_{dest} \cdot \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} = \\ &= \rho_{dest} \cdot \frac{m_o}{m_u} = 0.9975 \cdot \frac{79.507 - 25.318}{77.501 - 25.318} \\ \Delta\rho_{probe} &= \sqrt{\left(\frac{\delta\rho}{\delta m_o}\right)^2 \Delta m_o^2 + \left(\frac{\delta\rho}{\delta m_u}\right)^2 \Delta m_u^2} \\ \Delta m_o &= \Delta m_u = \Delta m_1 + \Delta m_0 = \Delta m_2 + \Delta m_0 = 0.002 \text{ g} \\ \Delta\rho_{probe} &= \pm 6 \cdot 10^{-5} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \\ \rho_{probe} &= (1.035846 \pm 0.000006) \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \end{aligned}$$

#### Messung mit Waage

$$\begin{aligned} m_{Luft} &= 30.021 \text{ g} && \text{Gewicht des Senkkörpers in Luft} \\ m_{Fluid} &= -10.285 \text{ g} && \text{Gewicht des Senkkörpers in der Flüssigkeit} \end{aligned}$$

Das Gewicht des Senkkörpers in der Flüssigkeit wurde ermittelt, nachdem wir das Gewicht des in der Luft an der Waage hängenden Körpers als neues Nullniveau tariert hatten. Also entspricht das gemessene negative Gewicht dem Auftrieb, der durch die Flüssigkeit verursacht wird. Nach dem archimedischen Prinzip ist das das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit.

Wir ermitteln die Korrektur für den Auftrieb des Senkkörpers in der Luft, indem

wir die Masse  $m(a)$  der Luft berechnen, die dem Volumen  $V$  des Senkkörpers von  $10\text{cm}^3$  entspricht:

$$m(a) = \rho(a) \cdot V = 1.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} 10 \cdot 10^{-6} \text{m}^3 = 1.2 \cdot 10^{-5} \text{kg} = 1.2 \cdot 10^{-2} \text{g} \quad (3)$$

Nachdem unsere Waage auf  $10^{-3}\text{g}$  genau misst, ist die Korrektur von  $1.2 \cdot 10^{-2}\text{g}$  notwendig. Wir erhalten damit

$$m_{Fluidkorr} = m_{Fluid} + m(a) = 10.285\text{g} + 1.2 \cdot 10^{-2}\text{g} = (10.297 \pm 0.002)\text{g} \quad (4)$$

Der Senkkörper hat ein Volumen  $V$  von  $10\text{cm}^3$ . Damit ist die Dichte der verdrängten Flüssigkeit:

$$\rho_{probe} = \frac{m_{Fluidkorr}}{V} = (1.0297 \pm 0.002) \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \quad (5)$$

### Messung mit digitalem Densitometer

$$\begin{aligned} \rho &= (0.9773 \pm 0.0001) \text{g/cm}^3 \\ T &= 23^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Für die Messungen mit der Waage Sartorius LC verwendeten wir ihre Messunsicherheit von  $0.001\text{g}$ , was ihrer letzten darstellbaren Stelle entspricht, und für die Mit dem Densitometer die Unsicherheit des Geräts mit seiner letzten Stelle von  $0.0001\text{g}$ .

Wir verwendeten bei allen Berechnungen die in der Aufgabenstellung angegebenen Werte für die Dichte von Luft und Wasser.

## 1.5 Diskussion

### Vergleich der Messergebnisse

$$\text{Mit dem Pyknometer: } \rho = (1.035846 \pm 0.000006) \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \quad (6)$$

$$\text{Mit der Waage: } \rho = (1.0297 \pm 0.002) \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \quad (7)$$

$$\text{Mit dem Densitometer: } \rho = (0.9773 \pm 0.0001) \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \quad (8)$$

Wir bemerken unterschiedliche Ergebnisse, die nicht in ihren jeweiligen Vertrauensbereichen liegen, vor allem fällt uns der stark abweichende Wert vom Densitometer auf. Wir könnten nun denken, dass, nachdem das Densitometer doch das genaueste Messgerät ist, dieser Wert der bessere sein sollte. Aber uns fällt auf, dass die am Densitometer gemessene Dichte **unter** der Dichte von Wasser bei dieser Temperatur liegt, wobei wir am Beginn klar gemessen haben, dass ein gewisses Volumen der Probeflüssigkeit **schwerer** als das gleiche Volumen Wasser ist, also muss ihre Dichte **höher** als die von Wasser sein. Wir haben wohl mit dem Gerät schlecht gemessen oder das Gerät hatte eine Fehlfunktion und es fiel uns leider nicht rechtzeitig auf.

Dass die Ergebnisse der beiden anderen Messungen nicht in ihre Unsicherheitsbereiche fallen, erklären wir durch unsere Uneschicktheit bei einem der vielen Arbeitsschritte- Flüssigkeiten werden herumgeschüttet, Dinge aneinander gehängt, insgesamt viele Dinge bewegt - wahrscheinlich waren wir irgendwann ungeschickt.

**Dichte von Festkörpern** Man könnte die Dichte von Festkörpern natürlich einfach mit dem archimedischen Prinzip messen: Man wiegt den Festkörper und ein randvolles Glas von Flüssigkeit. Dann misst man die Dichte der Flüssigkeit mit dem Densitometer. Man gibt den Festkörper jetzt in die Flüssigkeit, wobei Flüssigkeit ausrinnt. Dann wiegt man die Flüssigkeit nochmal - dabei ist so viel Volumen ausgeronnen wie auch der Körper hat. Aus der Dichte der Flüssigkeit und der Masse des ausgeronnenen Volumens kann man sich das Volumen berechnen - also hat man jetzt die Masse und das Volumen des Festkörpers, deren Quotient seine Dichte ist! Heureka!

## 2 Experimente am Luftkissentisch

### 2.1 Aufgabenstellung

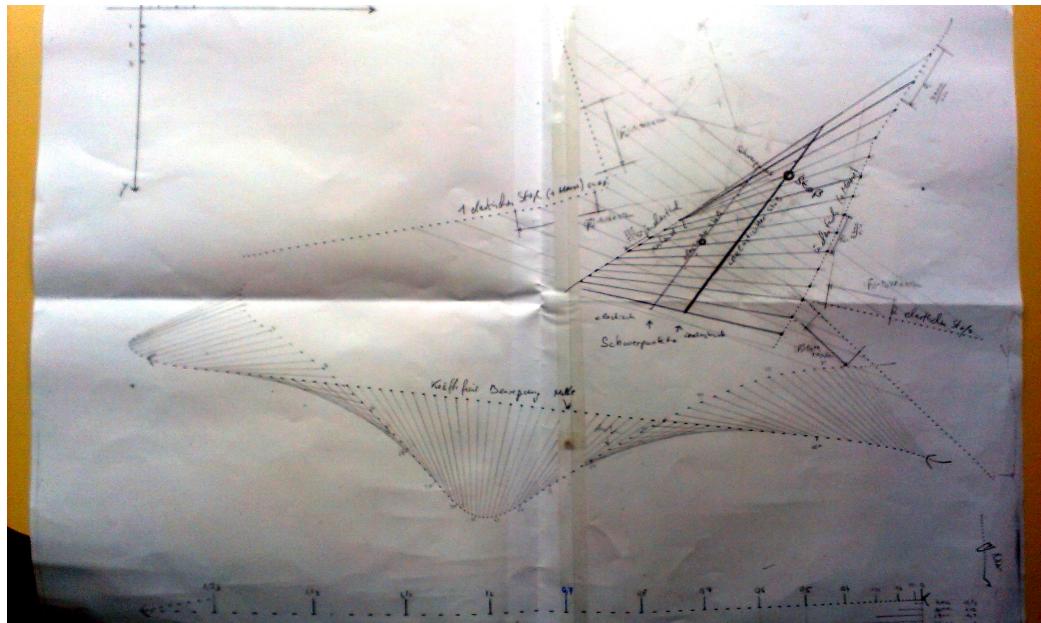
Wir analysieren nun kinematische und dynamische Zusammenhänge. Im Anfang eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung; dann eine kräftefreie Bewegung mit Rotationsanteil; schließlich einen elastischen, sowie einen inelastischen Stoß zweier Gleiter unterschiedlicher Massen. Wir wollen dabei lernen mit einfachen mechanischen Größen und der Beschreibung mit Vektoren umzugehen.

### 2.2 Grundlagen und Methoden

Auf einem Luftkissentisch lassen sich Gleitkörper, die auf einem Luftpocket sitzen, nahezu reibungsfrei bewegen. Diese zeichnen in regelmäßigen Intervallen Striche auf ein darunterliegendes Papier, mithilfe derer ihre Bewegung im Nachhinein analysiert werden kann. Dabei zeichnen wir ein Koordinatensystem auf einer Kopie des Papiers ein, und ermitteln mit seiner Hilfe, einem Geodreieck und einem Bleistift die Vektoren der Bewegungen der Gleiter.

## 2.3 Ergebnisse für die gleichmäßig beschleunigte Bewegung

Abbildung 1: Alle Bahnen



Wir befestigen eine Masse von  $m_g=50.0\text{g}$  über eine Rolle an einem der Gleiter und lassen sie über den Tischrand hängen, so dass sie von der Schwerkraft beschleunigt wird und eine annähernd gleichmäßige Beschleunigung auf den Gleiter ausübt.

**Bewegungsgleichungen** Die Bewegungsgleichung ist die altbekannte Gleichung für die gleichmäßig beschleunigte Bewegung:

$$\vec{x}(t) = \vec{x}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{1}{2} \vec{a} t^2 \quad (9)$$

mit  $\vec{x}_0 = 0$  und  $\vec{v}_0 = 0$ .

Abbildung 2: Bewegungsdiagramm

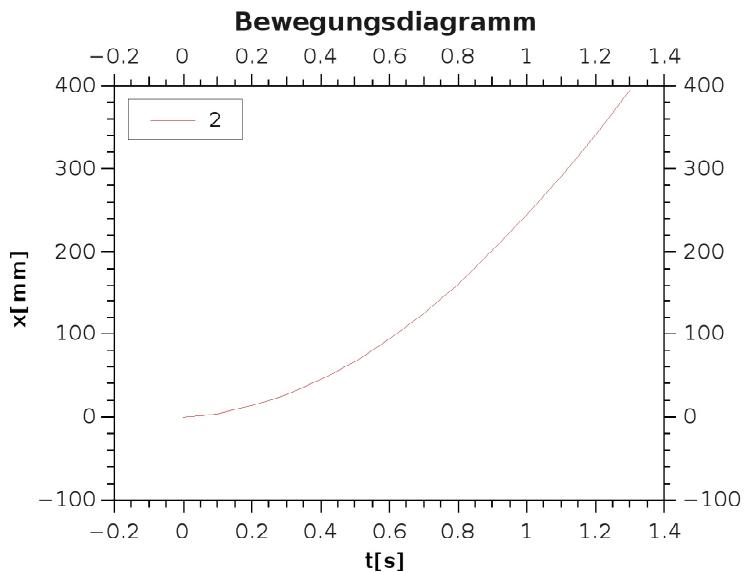


Abbildung 3: Geschwindigkeit

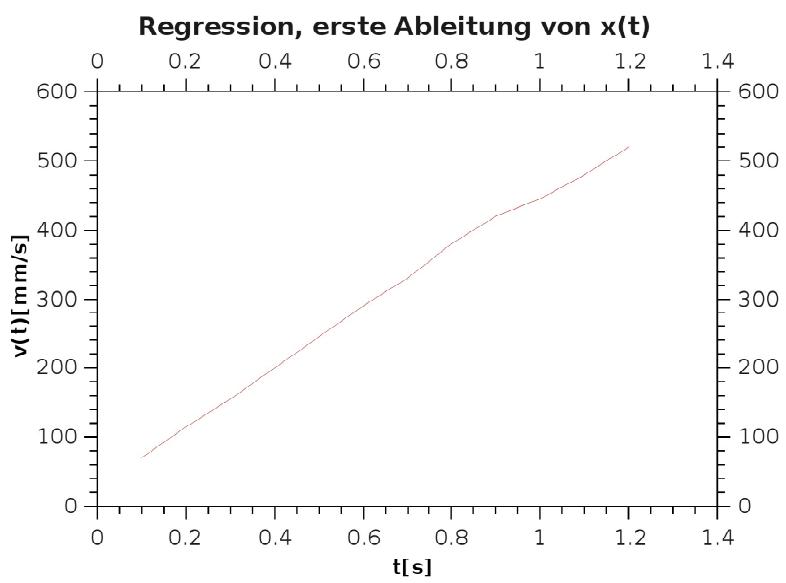
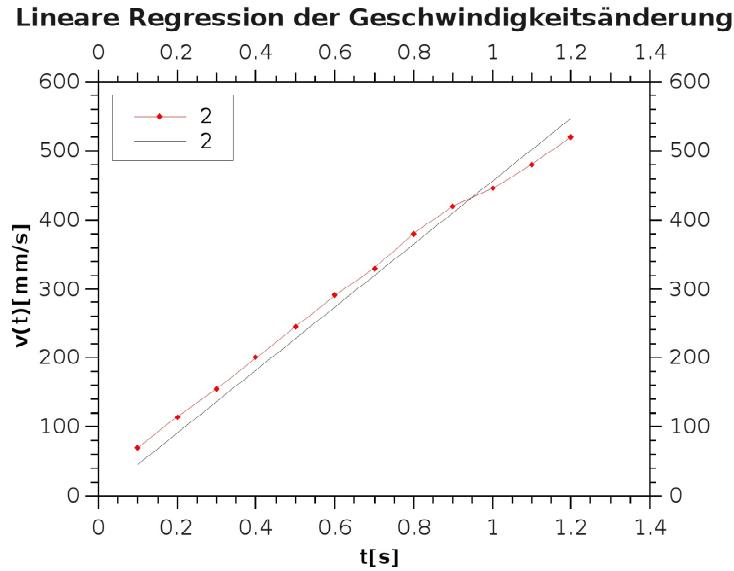


Abbildung 4: Beschleunigung



Die Beschleunigung  $\vec{a}$  erhalten wir mittels linearer Regression mit qtiplot aus der ersten Ableitung des Bewegungsdiagramms, also dem Geschwindigkeitsdiagramm:

Steigung der an der ersten Ableitung der Ortsfunktion gefitteten Gerade (also die Beschleunigung):

$$A \text{ (slope)} \pm \text{Err} = 455.84 \pm 7.6$$

#### Kraft und Gleitreibungskoeffizient

$$\begin{aligned} a &= A \pm \text{Err} = 2 \cdot 455.84 \pm 7.60 = (455.84 \pm 7.60) \frac{\text{mm}}{\text{s}^2} = \\ &= (460 \pm 8) \frac{\text{mm}}{\text{s}^2} = (0.46 \pm 0.008) \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \end{aligned}$$

Aus dieser Beschleunigung, die der Gleiter erfuhr, können wir uns jetzt über die bekannte Masse  $m_1 = 50.0\text{g}$  des Senkgewichts und die Erdbeschleunigung die scheinbare Masse  $m_G$  berechnen, die der Gleiter besitzt. Scheinbar deswegen, weil in ihr noch die Gleitreibungskraft enthalten ist, die der Beschleunigung entgegenwirkte. Wir erläutern unser Vorgehen näher in der Diskussion.

$$F = m_1 * a_g = m_G * a = 50.0\text{g} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = m_G * 0.46 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (10)$$

$$m_G = \frac{50.0\text{g} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0.46 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 1078.0\text{g} \quad (11)$$

(12)

Mit Gaußschem Fehlerfortpflanzungsgesetz:

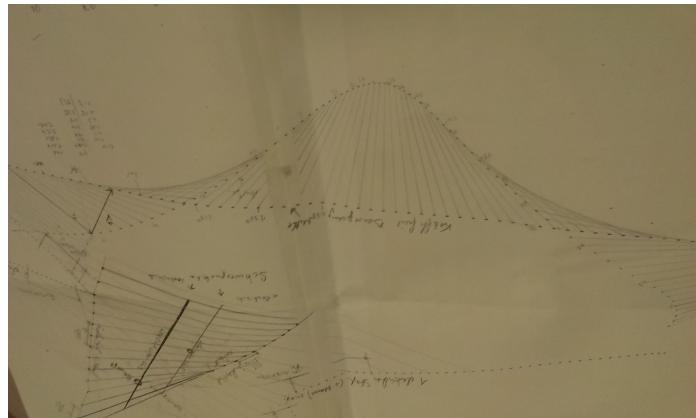
$$m_G = (1078.0 \pm 18.5)g \quad (13)$$

Weil wir vergessen haben ihn zu wiegen nehmen wir an, der Gleiter habe die Masse  $m=1000\text{g}$  (verschiedene Leute glauben, er habe ungefähr diese Masse.) Dann ist der Quotient aus der scheinbaren Masse, die er durch die Gleitreibung besitzt, und seiner schweren Masse der Gleitreibungskoeffizient  $\mu_G$ :

$$\mu_G = \frac{m_G}{m} = 1.078 \pm 0.0185 \quad (14)$$

## 2.4 Ergebnisse für die kräftefreie Bewegung

Abbildung 5: Kräftefreie Bewegung

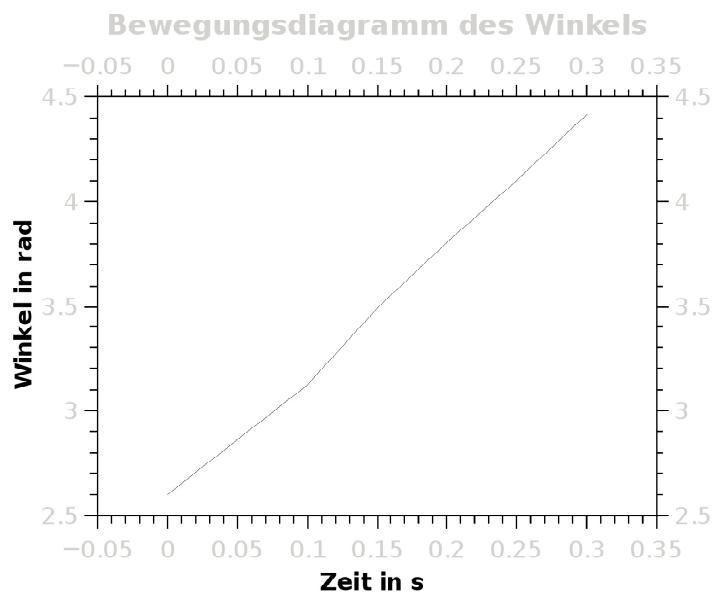


**Schwerpunktgeschwindigkeit** Der Schwerpunkt bewegt sich schön konstant und geradlinig.

$$\vec{v}_S = \begin{pmatrix} -0.3 \\ 0 \end{pmatrix} \pm 0.0005 \frac{m}{s} \quad (15)$$

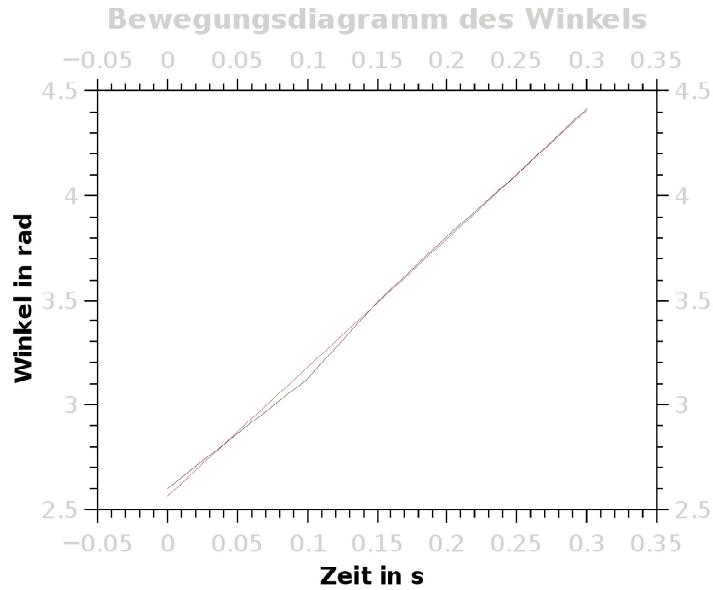
**Winkelgeschwindigkeit**

Abbildung 6: Rotationsbewegung



Mittels linearer Regression haben wir die Winkelgeschwindigkeit in rad/s ermittelt:

Abbildung 7: Winkelgeschwindigkeit



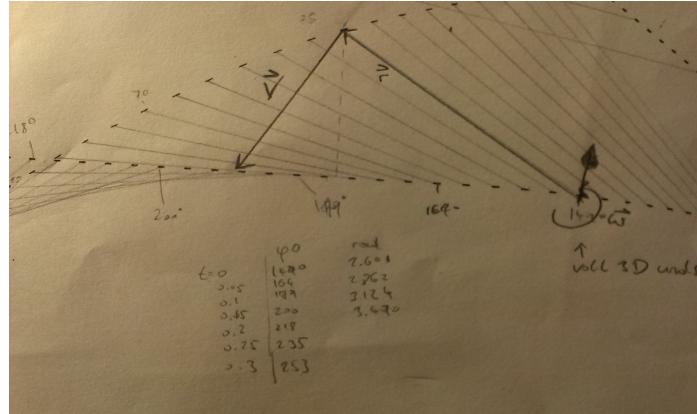
Die rote Gerade stellt dabei anschaulich die ermittelte Geschwindigkeit dar.  
 $\omega = (6.147 \pm 0.115) \frac{\text{rad}}{\text{s}}$   
**Peripherie-Geschwindigkeitsvektor**

$$\vec{v} = \vec{v}_S + \vec{\omega} \times \vec{r} =$$

$$\begin{pmatrix} -0.3 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \frac{m}{s} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 6.147 \end{pmatrix} \frac{\text{rad}}{\text{s}} \times \begin{pmatrix} 0.053 \\ 0.033 \\ 0 \end{pmatrix} \frac{m}{s} =$$

$$\vec{v} = \begin{pmatrix} -0.24 \\ -0.33 \\ 0 \end{pmatrix} \pm 0.007 \frac{m}{s}$$

Abbildung 8: Bahngeschwindigkeit



## 2.5 Ergebnisse für den elastischen Stoß

Wir beschweren Gleiter 1 mit einem Gewicht von  $\Delta m=54.6\text{g}$  und führen die Stoßbewegung aus. Die beiden Gleiter bewegen sich gegeneinander und leicht dezentral, mit annähernd konstanten Geschwindigkeiten.

**Geschwindigkeitsvektoren** Wir bezeichnen alle Vektoren vor dem Stoß mit  $x$ , alle Vektoren nach dem Stoß mit  $x'$ .

Für die Komponenten aller hier angegebenen Vektoren gilt die Unsicherheit von  $\pm 0.0005 \frac{m}{s}$ , für ihre Beträge daraus mit Gaußschem Fehlerfortpflanzungsgesetz:  $\pm 0.0004 \frac{m}{s}$ .

$$|\vec{v}_1| = 0.390 \pm 0.0004 \frac{m}{s} \quad |\vec{v}'_1| = 0.475 \pm 0.0004 \frac{m}{s} \quad (16)$$

$$|\vec{v}_2| = 0.378 \pm 0.0004 \frac{m}{s} \quad |\vec{v}'_2| = 0.319 \pm 0.0004 \frac{m}{s} \quad (17)$$

**Impulsvektoren** Wir bezeichnen die Masse eines Gleiters (wir nehmen an, dass beide Gleiter die gleiche Masse haben) mit  $m_G$ .

Durch Einzeichnung eines Koordinatensystems und Abtragung der Komponenten der Geschwindigkeitsvektoren auf dieses konnten wir folgende Vektoren ermitteln:

$$\vec{p}_1 = (m_G + \Delta M) \begin{pmatrix} 0.39 \\ 0 \end{pmatrix} \pm 0.0004 \frac{m}{s}, \quad \vec{p}'_2 = m_G \begin{pmatrix} -0.18 \\ 0.33 \end{pmatrix} \pm 0.0004 \frac{m}{s}$$

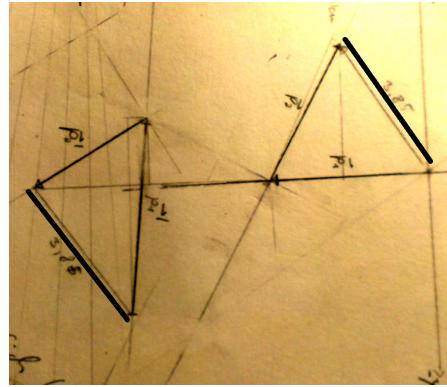
$$\vec{p}'_1 = (m_G + \Delta M) \begin{pmatrix} -0.05 \\ 0.48 \end{pmatrix} \pm 0.0004 \frac{m}{s}, \quad \vec{p}_2 = m_G \begin{pmatrix} 0.28 \\ -0.16 \end{pmatrix} \pm 0.0004 \frac{m}{s}$$

**Überprüfung des Impulssatzes** Wenn wir  $\vec{p}_1$  und  $\vec{p}_2$  sowie  $\vec{p}'_1$  und  $\vec{p}'_2$  addieren, erhalten wir:

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = (2m_G + \Delta M) \begin{pmatrix} 0.21 \\ 0.33 \end{pmatrix} \pm 0.0008 \frac{m}{s} \quad (18)$$

$$\vec{p}'_1 + \vec{p}'_2 = (2m_G + \Delta M) \begin{pmatrix} 0.23 \\ 0.32 \end{pmatrix} \pm 0.0008 \frac{m}{s} \quad (19)$$

Abbildung 9: Die fett eingezeichneten Gesamtimpulsvektoren ähneln sich, sind aber unterschiedlich



### Kinetische Energie

Die Energieerhaltung für den elastischen Stoß besagt, dass die kinetische Energie vor dem Stoß und nach dem Stoß die gleiche ist:

$$\frac{Mv^2}{2} \text{ vor Stoß} = \frac{Mv^2}{2} \text{ nach Stoß} \quad (20)$$

$$\frac{1}{2}(m_g + \Delta M)\vec{p}_1^2 + \frac{1}{2}m_g\vec{p}_2^2 = 0.1516 \pm 0.0008 J \quad (21)$$

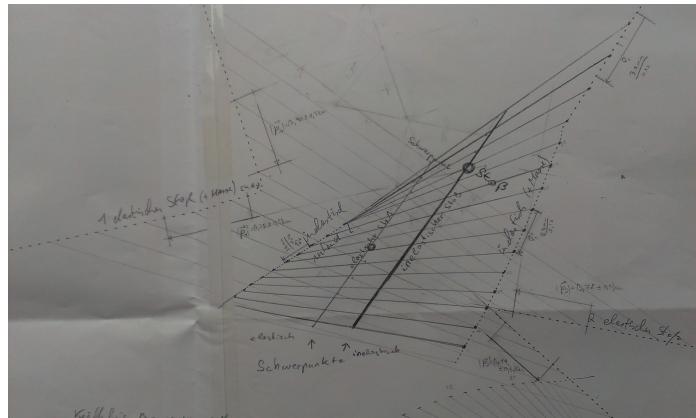
$$\frac{1}{2}(m_g + \Delta M)\vec{p}'_1^2 + \frac{1}{2}m_g\vec{p}'_2^2 = 0.1697 J \pm 0.0008 J \quad (22)$$

(23)

**Schwerpunkt** Der Geschwindigkeitsvektor des Schwerpunkts hat folgende Werte, abgelesen aus dem aufgetragenen Koordinatensystem:

$$\begin{pmatrix} 0.13 \\ 0.09 \end{pmatrix} \pm 0.0005 \frac{m}{s} \quad (24)$$

Abbildung 10: Schwerpunkte, elastischer Stoß: fein gezeichnet, inelastischer Stoß: fett gezeichnet



## 2.6 Ergebnisse für den inelastischen Stoß

Wir beschweren Gleiter 1 mit einem Gewicht von  $\Delta m = 54.6\text{g}$  und führen die Stoßbewegung aus.

### Impulsvektoren

Wir ermitteln gleich die Impulsvektoren, die einfach die Geschwindigkeitsvektoren multipliziert mit den Massen der Gleiter sind.

$\vec{p}_2$  ist vor dem Stoß  $\vec{0}$ , weil Gleiter 2 in Ruhe ist, und der um  $\Delta M$  beschwerte Gleiter rast unaufhaltsam auf ihn zu.

$$\begin{aligned}\vec{p}_1 &= (m_G + \Delta M) \begin{pmatrix} 0.39 \\ 0 \end{pmatrix} \pm 0.0004 \frac{m}{s} & \vec{p}_2 &= \vec{0} \\ \vec{p}'_1 &= (m_G + \Delta M) \begin{pmatrix} 0.24 \\ 0.04 \end{pmatrix} \pm 0.0004 \frac{m}{s} & \vec{p}'_2 &= m_G \begin{pmatrix} 0.12 \\ 0.07 \end{pmatrix} \pm 0.0004 \frac{m}{s}\end{aligned}$$

### Überprüfung des Impulssatzes

Addiert man die Impulse vor und nach dem Stoß erhält man:

$$\begin{aligned}\vec{p}_1 + \vec{p}_2 &= (m_G + \Delta M) \begin{pmatrix} 0.39 \\ 0 \end{pmatrix} \pm 0.0004 \frac{m}{s} \\ \vec{p}'_1 + \vec{p}'_2 &= (2m_G + \Delta M) \begin{pmatrix} 0.36 \\ 0.11 \end{pmatrix} \pm 0.0004 \frac{m}{s}\end{aligned}$$

### Schwerpunkt

$$\vec{S} = \begin{pmatrix} 0.16 \\ 0.03 \end{pmatrix} \pm 0.0004 \frac{m}{s}$$

## Kinetische Energie

$$\frac{m|\vec{v}_1|^2}{2} = (m_G + \Delta M)0.07605 \frac{m^2}{s^2} = (0.0802 \pm 0.0004)J$$
$$\frac{m|\vec{v}_1|^2}{2} + \frac{m|\vec{v}_2|^2}{2} = (m_G + \Delta M)0.0296 \frac{m^2}{s^2} + m_G 0.00965 \frac{m^2}{s^2} = (0.06082 \pm 0.0008)J$$
$$\Delta E_{Kinabsolut} = (0.0194 \pm 0.0008)J$$
$$\Delta E_{Kinrelativ} = 24.17\%$$

## 2.7 Diskussion

### Gleichmäßig beschleunigte Bewegung: Ermittelte und theoretisch wirkende Kraft

Die theoretisch wirkende Kraft am Gleiter, die durch das Fallgewicht und die Erdbeschleunigung verursacht wird, sollte den Gleiter zu einer gewissen Beschleunigung animieren - diese könnte man berechnen und mit der gemessenen vergleichen. Wir haben allerdings erst um eine unnötige Ecke gedacht und uns aus der gemessenen Beschleunigung die *Masse* berechnet, die ein Gleiter haben müsste, um reibungsfrei derart beschleunigt zu werden. Aus dem Verhältnis dieser berechneten Masse und der tatsächlichen Masse des Gleiters konnten wir unser  $\mu_G$  auch bestimmen.

#### Kräftefreie Bewegung:

Die Unsicherheit bei der Winkelmessung mit dem Geodreieck beträgt  $\pm 0.5$  Grad, das sind  $0.0087\text{rad}$ . Allerdings ist die Unsicherheit aus dem linearen Fit, die qtiplot angibt, mit  $0.115$  viel größer als diese. Darum verwenden wir sie als Unsicherheit für die Winkelgeschwindigkeit.

Der berechnete Peripheriegeschwindigkeitsvektor stimmt in Richtung und Betrag schön mit der eingezeichneten Rotationsbewegung überein.

#### Elastischer Stoß: Impulserhaltung

Aus dem Vergleich von 18 und 19 erahnen wir, dass der Impuls im elastischen Stoß nahezu erhalten geblieben ist. Die Beträge der beiden Vektoren ähneln sich noch mehr als die Vektoren selbst ( $3.91$  und  $3.94$ ), also gehen wir davon aus, dass ihre Abweichung voneinander hauptsächlich durch die Ungenauigkeit unserer Messung und durch die Ungenauigkeit unserer Auswertung, die aus Arbeit mit Geodreieck, Bleistift und müden Augen besteht, entsteht. Allerdings ist der Stoß natürlich nicht perfekt elastisch, es ist etwas Bewegungsenergie durch die Verformung der Federn und durch die Gleitreibung verloren gegangen.

#### Elastischer Stoß: Energieerhaltung

Die Energieerhaltung für den elastischen Stoß besagt, dass die kinetische Energie vor dem Stoß und nach dem Stoß die gleiche ist. Wir betrachten zuerst die Geschwindigkeiten der Gleiter vor und nach dem Stoß, die einzigen veränderlichen Größen im Experiment zu denen die Energie proportional ist (die Massen haben sich sicher nicht messbar geändert:)

Der Betrag der Geschwindigkeit des Schwerpunkts hat sich von vor dem Stoß:

0.391m/s zu 0.394m/s nach dem Stoß verändert. Es ist natürlich nicht zu erwarten, dass die Geschwindigkeit zugenommen hat. Aber wenn wir uns mit dem Gaußschen Fehlerfortpflanzungsgesetz die Unsicherheiten der Beträge der Geschwindigkeiten anschauen, kommen wir der Wahrheit schon ein Stückchen näher, sie ergibt sich nämlich leicht aufgerundet von 0.0007 zu 0.001 m/s.

$$\Delta v = \pm 0.001 \frac{m}{s} \quad (25)$$

Für diese Unsicherheiten haben wir allerdings nur die Unsicherheit in unseren Längenmessungen verwendet, die Unsicherheit in der Zeit, die durch die Maschine und durch die Auftragung auf dem Papier gegeben ist, wurde noch nicht berücksichtigt. Auf jeden Fall liegen zusammen mit der menschlichen Unsicherheit die beiden Vertrauensbereiche der Geschwindigkeiten, zu denen die kinetischen Energien direkt proportional sind, zumindest noch fast beieinander, auch wenn die Geschwindigkeit nachher natürlich kleiner sein sollte:

$$v_{vorher} = (0.391 \pm 0.001) \frac{m}{s}$$

$$v_{nachher} = (0.394 \pm 0.001) \frac{m}{s}$$

Damit erklären sich auch die unterschiedlichen Energien, die wir erhalten, die nicht einmal mehr in ihren jeweiligen Unsicherheitsbereichen liegen: Die Geschwindigkeiten sind ungenau, vor allem die nach dem Stoß: daher die größere Energie nach dem Stoß, die Unsicherheitsbereichs.

#### **Elastischer Stoß: Diskussion der Bahnkurve des Schwerpunktes**

Wie zu erwarten ist die Bahnkurve des Schwerpunktes nach und während dem Stoß gerade, seine Geschwindigkeit ist annähernd konstant im Betrag, genau so wie in der Richtung. Natürlich ging etwas Energie in die Verformung der Federn und durch die Gleitreibung verloren, aber es ist so wenig dass es innerhalb unserer Messunsicherheit nicht auffällt.

#### **Inelastischer Stoß: Diskussion der Bahnkurve des Schwerpunktes**

Wie beim elastischen Stoß ist die Bahnkurve des Schwerpunkts schön gerade, auch seine Geschwindigkeit hat sich nicht messbar geändert.

#### **Inelastischer Stoß: Kinetische Energie**

Hier gingen natürlich große Mengen Energien, rund 24% der kinetischen Energie in andere Formen von Energien über, hauptsächlich vermutlich in die Verformung am Klettverschluss, in Wärme und in Vibration (die Gleiter trafen sich mit einem laut hörbaren "Klack", und auch Schallwellen wollen erst durch Energie angeregt werden.)