

**INSTITUT FÜR MATERIALPHYSIK**

**WINTERSEMESTER 2005/06**

**PHYSIKALISCHES PRAKTIKUM I**

**PROTOKOLL**

**EXPERIMENT (Nr.,Titel):** PW2.....  
.....**Grundgrößen der Mechanik....**

**Datum: 1.Februar 2006**

**Namen: Saulder Christoph, Wenzel Bernhard**

**Kurstag / Gruppe: Mittwoch, Gruppe2**

**Betreuer: Hr. Thomas Waitz**

# *Dichte flüssiger Substanzen*

## Theorie

### *Masse:*

Sie ist eine unveränderliche ortsunabhängige Größe. Sie hat zwei Eigenschaften:  
 Trägheit: Der Körper ändert nur unter äußerer Krafteinwirkung seinen Bewegungszustand.  
 Schwere: zwischen ihm und andere Körper wirken anziehende Gravitationskräfte.  
 Masse ist die Eigenschaft der Materie träge und schwer zu sein.

Kraft ist Masse mal Beschleunigung

Auf jeden Körper wirkt die Schwerkraft der Erde (oder eines anderen Himmelskörper...) als Folge der Gravitation. Unter Gewichtskraft  $F_G$  eines Körpers versteht man die auf ihn im Schwerfeld eines Himmelskörpers wirkende Kraft. Diese Kraft ruft eine Schwerkraft, bzw. Fall, bzw. Erdbeschleunigung hervor.

Ein Körper hat also immer die gleiche Masse, aber auf Erde oder Mond eine anderes Gewicht. (...Gewichtskraft)

### *Dichte:*

Die Masse eines Körpers hängt außer seinem Volumen auch von der Stoffart ab.  
 Dichte ist das Verhältnis von Körpermasse zu seinem Volumen.

$$\rho = m / V$$

### *Auftrieb:*

Jeder in eine Flüssigkeit getauchte Körper verliert scheinbar einen Teil seiner Gewichtskraft  
 Die der  $F_G$  entgegenwirkende Kraft wird als Auftriebskraft  $F_A$  bezeichnet.  
 Sie entspricht der  $F_G$  vom Körper verdrängten Flüssigkeit und entsteht als Differenz von Aufdruckkraft und Bodenkraft. , weil der Schweredruck (z.B. in einem Gefäß) unten größer als der Schweredruck oben ist.

*Dies bezeichnet man als Archimedisches Prinzip:*

$$F_A = V_{Fl} * \rho_{Fl} * g = m_{Fl} * g$$

$F_A$ ...Auftriebskraft

$V_{Fl}$  ... Volumen der vom Körper verdrängten Flüssigkeit

$\rho_{Fl}$  ...Dichte Flüssigkeit

$m_{Fl}$ ...Masse der verdrängten Flüssigkeit

Daraus folgt:

$F_A = F_G$  ...Körper schwebt

$F_A < F_G$  ...Körper sinkt zu Boden

$F_A > F_G$  ...Körper schwimmt

## Durchführung

Die Dichte einer Probe­flüssigkeit soll mit 3 verschiedenen Methoden gemessen werden

Pyknometer:

Das Pyknometer ist ein Glasgefäß mit genau definiertem Volumen. Es hat einen eingeschliffenen Stöpsel, mit einer feinen Bohrung von 1 mm Durchmesser.

Man füllt ohne Luftblasen zuerst destilliertes Wasser dann die Probe­flüssigkeit ein. Wichtig ist Luftblasen zu vermeiden.

Die relative Dichte  $d$  wird bestimmt indem die beiden Massen verglichen werden

$$d_{\text{rel}} = \rho_2 / \rho_1 = (m_2 - m_0) / (m_1 - m_0)$$

Die absolute Dichte der Probe­flüssigkeit erfolgt durch Multiplikation mit der Dichte des destillierten Wassers (wird anhand der aktuellen Temperatur aus einer Tabelle entnommen).

### *Auftriebsmessung mit Waage*

Der Auftrieb eines Senkkörpers aus Glas wird in destilliertem Wasser und in der Probe­flüssigkeit bestimmt. Nach dem Archimedischen Prinzip verhalten sich die Dichten der Flüssigkeiten wie die Auftriebswerte des Senkkörpers in ihnen. Daraus ist die relative Dichte zu destilliertem Wasser zu bestimmen. Mit der Dichtetabelle für Aqua Dest. dann die absolute Dichte.

Der Auftrieb wird ermittelt indem das Gewicht des Senkkörpers in Luft und in der Flüssigkeit bestimmt, und die Differenz gebildet wird. Die Messanordnung besteht aus einer elektronischen Waage (Sartorius) mit der der Senkkörper verbunden ist. Ein Flüssigkeits-Behälter in dem der Senkkörper bei der Messung eintaucht, steht auf einer festen Brücke, wird also nicht mit der Waage mitgewogen.

Es wird die waagrechte Stellung überprüft. Die Waage wird nun tariert wenn der Senkkörper in der Luft hängt. (Der Nullpunkt wird dem momentanen Gewicht zugeordnet.)

Der Auftrieb erscheint nun bei der Wägung der Flüssigkeiten als negatives Gewicht, es wird die Masse der verdrängten Flüssigkeit angezeigt.

Der Auftrieb des Probekörpers in der Luft ist zu berücksichtigen.

### *Digitales Densitometer*

Die Flüssigkeit wird in ein U-förmig gebogenes Glasröhrchen eingebracht, das einseitig eingespannt ist und Schwingungen durchführt. Die Schwingungsdauer ist der Wurzel aus der Masse des schwingenden Stabes ist proportional.

Dichte der Probe­flüssigkeit  $\rho$ :  $\rho = A * (T^2 - T_0^2)$

A...Konstante

$T_0^2$ ...Schwingungsdauer des leeren Röhrchens

T... Schwingungsdauer gefüllten Röhrchens

Die Auswertung erfolgt automatisch und wird Digital angezeigt.

Zuerst wird mit destilliertem Wasser einmal durchgespült um Verunreinigungen zu vermeiden. Mit einer Zweiten Füllung wird nun die Dichte vom Destilliertem Wasser bestimmt, danach die der Probeflüssigkeit. Die Messung erfolgt nachdem im Sichtfenster sichergestellt ist das keine Luftblasen vorhanden sind.

### Messdaten

#### Pyknometer

	Wert	Genauigkeit/Fehler
$m_{\text{Pykometer}}$ [kg]	0,031780	0,000001
$m_{\text{aqua dest}}$ [kg]	0,082980	0,000001
$m_{\text{Probeflüssigkeit}}$ [kg]	0,085026	0,000001
$d$	<b>1,03996</b>	0,00003
$T$ [°C]	21,8	0,2
$\rho_{\text{aqua dest}}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	997,8135	0
$\rho_{\text{Probeflüssigkeit}}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	<b>1037,69</b>	0,03

#### Auftriebsmessung

	Wert	Genauigkeit/Fehler
Probekörper [cm <sup>3</sup> ]	10	0
$m_{\text{Luft}}$ [g]	0,012	0,001
$m_{\text{aqua dest}}$ [g]	9,981	0,001
$m_{\text{Probeflüssigkeit}}$ [g]	10,380	0,001
$d$	<b>1,0400</b>	0,0001
$d$ mit Luft	1,0400	0,0002
$\rho_{\text{aqua dest direkt}}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	<b>996,9</b>	0,1
$\rho_{\text{Probeflüssigkeit direkt}}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	<b>1036,8</b>	0,1
$\rho_{\text{Probeflüssigkeit. ohne Luft}}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1037,7	0,1
$\rho_{\text{Probeflüssigkeit. mit Luft}}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	1037,8	0,2

#### Densitometer

	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$T$ [°C]
aqua dest	996	21
Probeflüssigkeit	1035	20,7

### Auswertung

Mittels des Pyknometers kann man aus der Masse der eingefüllten Flüssigkeit und Vergleich mit der Masse einer weiteren Flüssigkeit die relative Dichte errechnen. Diese beträgt bei unserer Probeflüssigkeit ( **$1,03996 \pm 0,00003$** ) und daraus ergibt sich mittels der bekannten Dichte von destillierten Wasser bei gemessener Temperatur eine absolute Dichte von ( **$1037,69 \pm 0,03$** ) kg/m<sup>3</sup>.

Da die Auftriebskraft(hier als Gewichtskraft über die Waage wirkend) der Masse des verdrängten Volumens entspricht. Aus dieser Relation kann man dann die relative der Probeflüssigkeit gegenüber destillierten Wasser errechnen, welche  $(1,0400 \pm 0,0002)$ . Dann kann man sogar aus dem bekannten Volumen des Probekörpers die absolute Dichte der Probeflüssigkeit und sogar der des destillierten Wassers auf verschiedene Arten(z.B. unter Berücksichtigung der Dichte der Luft, welche die Nulltarierung der Waage nicht ganz genau macht). Bei der Messung der Dichte der Probeflüssigkeit mit Berücksichtigung der Luft und dem Dichtewert des destillierten Wassers auch aus der Messung erhält man einen Wert von  $(1036,8 \pm 0,1) \text{ kg/m}^3$  und unter Verwendung der Dichte des destillierten Wasser aus der Tabelle bekommt man eine Dichte der Probeflüssigkeit von  $(1037,8 \pm 0,2) \text{ kg/m}^3$ .

Für die Ergebnisse aus dem Densitometer ist keine weitere Auswertung mehr nötig, da das Gerät sofort den Messwert anzeigt.

### Interpretation

Es zeigt sich, dass alle Messmethoden ähnlich genau sind und die Werte für Dichte der Probeflüssigkeit der verschiedensten Methoden und Auswertungsmethoden liegen alle in einem engen Bereich zwischen  $(1035 - 1038) \text{ kg/m}^3$ .

## *Luftkissentisch*

### Theorie

#### *Translation:*

Die Größen der Translation (Weg, Geschwindigkeit, Beschleunigung ) sind Funktionen der Zeit.

#### *Geschwindigkeit Zeit Diagramm: $y(v)$ , $x(t)$ -Kurve*

Es zeigt die Größe der Geschwindigkeit zu jedem Zeitpunkt und den bis dahin zurückgelegten Weg. (=Fläche unter der Kurve) Aus dem Anstieg kann die Beschleunigung ermittelt werden.

#### *Weg Zeit Diagramm: $y(s)$ , $x(t)$ –Kurve*

Unter Konstanter Geschwindigkeit  $v$  versteht man das Verhältnis des zurückgelegten Weges zu der dafür benötigten Zeit. Sie entspricht dem Anstieg der  $s,t$  Kurve also  $\{v\} = \tan \alpha$

#### *Kräftefreie Bewegung: Gleichförmige Bewegung (Translation, Rotation)*

$$\mathbf{v} = \mathbf{v}_s + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}$$

$v$ ... Geschwindigkeitsvektor

$v_s$ ... Geschwindigkeitsvektor des Schwerpunktes

$\omega$  ... Winkelgeschwindigkeitsvektor

$r$ ... Radiusvektor

*Gleichförmig beschleunigte Bewegung**ohne Anfangsgeschwindigkeit:*

Die Geschwindigkeit nimmt aus der Ruhe heraus gleichmäßig zu.

$$s = (v \cdot t) / 2 = at^2 / 2 \quad ; \quad v = a \cdot t \quad ; \quad v = \sqrt{2as}$$

Die mittlere Geschwindigkeit ist  $v_m = (0 + v) / 2 = at / 2 = s / t$ 

mit Anfangsgeschwindigkeit:

$$s = [(v_0 + v) / 2] \cdot t = v_0 \cdot t + at^2 / 2 \quad ; \quad v = v_0 + at \quad ; \quad v_m = v_0 + at / 2 = s / t$$

Damit kommt man zur Bewegungsgleichung (Gesamtweg)

$$x(t) = (a/2)t^2 + v_0 t + x_0$$

x(t)... Ortsvektor

a... Beschleunigungsvektor

t... Zeit

v<sub>0</sub>... Anfangsgeschwindigkeitx<sub>0</sub>... Anfangsort

Unter konstanter Beschleunigung a versteht man das Verhältnis der Geschwindigkeits-Änderung zu der dafür benötigten Zeit. Sie entspricht im v,t- Diagramm dem Tangens zwischen Kurve und t-Achse **{a} = tan β**

Ein Bremsvorgang ist eine negative Beschleunigung... a &lt; 0

$$a = \Delta v / \Delta t$$

*ungleichmäßig beschleunigte Translation:*Die Beschleunigung a ist nicht konstant. Die Momentangeschwindigkeit ist die 1. Ableitung der s,t Funktion nach der Zeit.  $v = s'$ Der Weg ist das Zeitintegral der Geschwindigkeit:  $s = \int_{t_1}^{t_2} v \, dt$ Die Momentanbeschleunigung ist die 1. Ableitung der v,t Funktion nach der Zeit  $a = v'$  bzw. die 2. Ableitung der s,t Funktion nach der Zeit  $a = s''$ Der Geschwindigkeit ist das Zeitintegral der Beschleunigung:  $v = \int_{t_1}^{t_2} a \, dt$ *Gleitreibungskraft*

$$F_{GR} = \mu F_N$$

F<sub>GR</sub> ... GleitreibungskraftF<sub>N</sub>... Normalkraft

μ ... Gleitreibungszahl

*Elastischer Stoß*

Impuls, Kinetische Energie

$$p = m v$$

*Impulssatz:*

Der Gesamtimpuls eines abgeschlossenen Systems (es wirken keine äußeren Kräfte) ist konstant.

$$\mathbf{p}_{\text{ges}} = \sum \mathbf{p}_i = \text{const} ; \text{daraus folgt: } \Delta \mathbf{p}_{\text{ges}} = \sum \Delta \mathbf{p}_i = 0$$

Um einen Körper zu beschleunigen und ihn auf eine bestimmte Geschwindigkeit zu bringen, muss Arbeit verrichtet werden. Diese ist in Form von Energie im Körper gespeichert. Eine Änderung der Geschwindigkeit hat demnach eine Auswirkung auf  $E_{\text{kin}}$ .

$$E_{\text{kin}} = (m v^2) / 2$$

$$\Delta E_{\text{kin}} = m / 2 (v_2^2 - v_1^2)$$

m...Masse des Gleiters (1,01 bzw. 1,51 kg)

v...Geschwindigkeitsvektor des Gleiters

Als Stoß bezeichnet man das Zusammenprallen zweier Körper. Bei Berührung findet ein Energie und Impulsaustausch statt. Nach dem Stoß haben beide Körper nach Betrag und Richtung veränderte Geschwindigkeiten. Bei geradem zentralen Stoß bewegen sich die Massenmittelpunkte beider Körper auf einer gemeinsamen Geraden. Die Wechselwirkungskräfte wirken während dem Stoß parallel zur Bewegungsrichtung. Ist der Stoß elastisch, dann bewegen sich die Körper aufgrund ihrer Elastizität wieder voneinander ab und bewegen sich mit unterschiedlichen Geschwindigkeitsbeträgen.

$$v_1 + v_1' = v_2 + v_2'$$

$v'$  = nach dem Stoß

$v$  = vor dem Stoß

$$v_1' = [(m_1 - m_2) * v_1 + 2m_2 v_2] / (m_1 + m_2)$$

*Inelastischer Stoß*

Beim unelastischen Stoß verformen sich die Körper an den Berührungsstellen und bewegen sich dann mit gemeinsamer Geschwindigkeit weiter, ohne Trennung.

$$v = [m_1 v_1 + m_2 v_2] / (m_2 + m_1)$$

Nach dem Gesetz der Erhaltung der Energie ist die Bewegungsenergie nach dem Stoß kleiner als vor dem Stoß, weil ein Teil der Energie für die Verformung der unelastischen Körper benötigt wird.

$$\text{Verformungsarbeit: } W = E_1 - E_2 = [m_1 * m_2 / 2(m_1 + m_2)] * (v_1 + v_2)^2$$

*Schwerpunkt (Massenmittelpunkt MMP)*

Der Massenmittelpunkt ist also der gewichtete Mittelwert von allen Ortsvektoren des Mmp's. Jenem MP mit größerer Masse wird ein größeres Gewicht beim Mittelungsvorgang zugeordnet.

$$\mathbf{R} = \sum(m_i * \mathbf{r}_i) / \sum m_i$$

MMP-Satz:

Wn die Summe der gesamten äußeren Kraft null ist, dann bleibt der Impuls des gesamten System im MMP erhalten. (Impuls =  $m \cdot v$  Die zeitliche Ableitung ist null wenn die äußere Kraft null ist...) Der Impuls des Systems im MMP im vereinfacht gedachten System ist konstant.

Der Schwerpunkt eines Körpers ist der Angriffspunkt der Resultierenden aller seiner Teilgewichtskräfte. Er kann auch außerhalb des Körpers liegen.

**Durchführung**

Der Luftkissentisch ist in waagrechte Stellung zu bringen.

Gleitkörper können sich auf der Glasplatte annähernd reibungsfrei bewegen, indem sie auf einem Luftpolster geleiten. Diesen erzeugen sie selbst mit einer elektrischen Pumpe.

Mit dieser Anordnung können kräftefreie Bewegungen und Beschleunigungen unter dem Einfluss einer definierten äußeren Zugkraft und Stoßprozesse gemessen werden.

Auf der Glasplatte wird elektrisch leitendes Metallpapier befestigt. Metallische Schreibstifte an den Festkörpern zeichnen somit ihre Bewegungen auf. Damit die Zeit als Parameter erfasst werden kann, ist die ansteuernde Spannung mit einer Frequenz von 50 Hz unterbrochen. Es entsteht eine strichlierte Bahnkurve, ein Strich entspricht 0,02s.

Die Aufzeichnung der Bahnkurven startet mit einem Taster am Luftkissentisch. Es wird immer gemessen, bzw. aufgezeichnet nachdem der Gleitkörper gestartet ist, bzw. die Messung gestoppt bevor der Gleitkörper an die Begrenzung fährt.

*Kräftefreie, Gleichförmige Bewegung  
(Translation, Rotation) des starren Körpers.*

Der Gleitkörper wird in Bewegung (Translation) mit Rotation versetzt. Der Mittelpunktschreiber vom Körper gibt die Bahnkurve an, ein Schreiber am Rand zeichnet die Rotation auf. Der Vektor der Schwerpunktgeschwindigkeit wird alle 0,2 Sekunden in jedem zehnten Teilstrich ermittelt. Für jede Komponente wird ein Weg Zeit Diagramm gezeichnet. Für die Rotation wird der zurückgelegte Winkel (Peripheriepunkt) in Bezug auf eine gewählte Referenzrichtung gegen die Zeit aufgetragen.

Der Anstieg im Diagramm stellt die Geschwindigkeitskomponente des Schwerpunktes bzw. der Winkelgeschwindigkeit der Rotation dar.

Die Bewegung eines kräftefrei bewegten starren Körpers lässt sich als Summe der gleichförmigen Translationsbewegung und einer gleichförmiger Rotationsbewegung darstellen.

Geschwindigkeitsvektor:  $\mathbf{v} = \mathbf{v}_s + (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r})$

*Gleichförmig beschleunigte Bewegung*

Aus dem Weg Zeitdiagramm eines mit konstanter Kraft beschleunigtem Körper, soll die Beschleunigung und die Gelitreibungszahl bestimmt werden.

Am Luftkissentisch wird eine Umlenkrolle befestigt. Ein 49,7g schweres Gewicht wird mit einem Faden an dem Gleitkörper befestigt. Der Faden muss waagrecht sein. (Höhe der Umlenkrolle zur Befestigung am Gleitkörper.)

Der Gleiter wird ohne zusätzlichen Impuls losgelassen und gleichzeitig die Aufzeichnung gestartet. Er beschleunigt gleichförmig bis er an die Begrenzung fährt. Kurz davor wird die Aufzeichnung gestoppt.

*Elastischer Stoß*

Zwei Gleiter werden mit Federringen für den elastischen Stoß vorbereitet und auf schrägen Bahnen gegeneinander laufen gelassen. Ein Körper bekommt eine zusätzliche Masse. Nachdem sie in Bewegung sind wird der Registrierschalter zur Aufzeichnung betätigt.

*Inelastischer Stoß*

Die Federringe werden gegen Filzringe getauscht. Es entsteht beim Aufprall quasi eine leichte Deformation.

**Messdaten***Geradlinige Bewegung - Translation*

Weg pro 0,2s [cm]	v [m/s]
4,7	0,235
4,7	0,235
4,6	0,23
4,5	0,225
4,4	0,22
4,4	0,22
4,3	0,215
4,1	0,205
4,0	0,2
3,9	0,195
Mittelwert v [m/s]	<b>0,22</b>
$\sigma_v$ [m/s]	0,01

*Geradlinige Bewegung - Rotation*

Zeit [s]	Winkel [°]	Winkel [rad]	$\Delta$ Winkel [rad]	$\omega$ [rad/s]
0,0	-54	-0,942	-	-
0,2	42	0,733	1,676	8,4
0,4	138	2,409	1,676	8,4
0,6	233	4,067	1,658	8,3
0,8	329	5,742	1,675	8,4
1,0	421	7,348	1,606	8,0
1,2	513	8,953	1,606	8,0
1,4	603	10,524	1,570	7,9
1,6	693	12,095	1,571	7,9
1,8	780	13,614	1,518	7,6
2,0	867	15,132	1,518	7,6
MW $\omega$ [rad/s]				<b>8,0</b>
$\sigma\omega$ [rad/s]				0,3

*Geradlinige Bewegung – besonderer Punkt*

Abstand [mm]	45
$v_s$ [m/s]	0,225
Winkelunterschied [°]	9
Winkelunterschied [rad]	0,157
$\omega$ [rad/s]	7,851
$r_x$ [mm]	-2
$r_y$ [mm]	63
$r_x$ [m]	-0,002
$r_y$ [m]	0,063
$v_x$ [m/s]	<b>-0,720</b>
$v_y$ [m/s]	-0,016

*Gleichförmig beschleunigte Bewegung*

Zeit [s]	r [cm]	r [m]
0,4	0	0,000
0,5	2,9	0,029
0,6	6,2	0,062
0,7	10	0,100
0,8	14,2	0,142
0,9	18,9	0,189
1,0	24	0,240
1,1	29,6	0,296
1,2	35,7	0,357

Masse des angehängtes Gewichts: 0,0497kg

Masse des Gleitkörpers: 0,9378kg

*Elastischer Stoß*

	l [cm]	$\alpha$ [°]	$\alpha$ [rad]	t [s]	$v_x$ [m/s]	$v_y$ [m/s]	m [kg]	$p_x$ [m*kg/s]	$p_y$ [m*kg/s]
Objekt1 vor Stoß	12,0	-44	-0,768	0,3	0,288	-0,278	1,489	0,428	-0,414
Objekt1 nach Stoß	6,2	73	1,274	0,3	0,060	0,198	1,489	0,090	0,294
Objekt2 vor Stoß	11,6	137	2,391	0,3	-0,283	0,264	0,990	-0,280	0,261
Objekt2 nach Stoß	13,5	-82	-1,431	0,3	0,063	-0,446	0,990	0,062	-0,441

*Inelastischer Stoß*

	l [cm]	$\alpha$ [°]	$\alpha$ [rad]	t [s]	$v_x$ [m/s]	$v_y$ [m/s]	m [kg]	$p_x$ [m*kg/s]	$p_y$ [m*kg/s]
Objekt1 vor Stoß	0	0	0	0,1	0	0	1,487	0	0
Objekt2 vor Stoß	5,1	201	3,508	0,1	-0,476	-0,183	0,990	-0,471	-0,181
Schwerpunkt nach Stoß	10,1	208	3,630	0,5	-0,178	-0,095	2,477	-0,442	-0,235

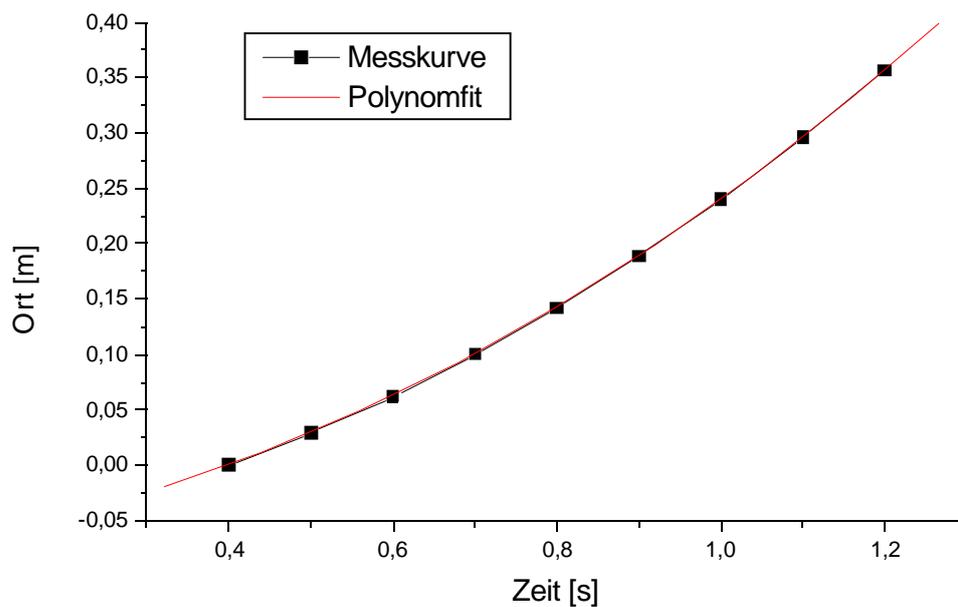
### Auswertung + Interpretation

Bei der geradlinigen sollte die Geschwindigkeit des Gleitkörpers konstant sein. Dies ist hier auch in Näherung der Fall, da man bei unseren Versuch einen leichten Rückgang der Geschwindigkeit mit zunehmender Zeit auf Grund der Reiben erkennen kann. Die durchschnittliche translatorische Geschwindigkeit des Gleitkörpers betrug  $(0,22 \pm 0,01)$  m/s. Weiters führte der geradlinig bewegte Körper auch noch eine Rotation durch. Da der Schreiber hier auf einem Randpunkt des Gleitkörpers befestigt war liefert dies eine Zykloide. Aus dem Fortschritt des Drehwinkels kann man sich die Winkelgeschwindigkeit der Rotation ausrechnen, welche ebenfalls in Folge der Reibung während der Bewegung langsam abnahm, aber ansonsten konstant sein sollte. Die mittlere Winkelgeschwindigkeit des rotierenden Gleitkörpers betrug  $(8,0 \pm 0,3)$  rad/s. Weiters musste für einen speziellen Punkt, bei dem die Fortbewegungsgeschwindigkeit ein Maximum hatte (also am „Bauch“ der Zykloide) die aktuelle Geschwindigkeit errechnet werden. Es wurde dazu ein geeignetes Koordinatensystem gewählt und aus der Geschwindigkeit des Schwerpunktes und der Rotationsgeschwindigkeit in diesem Punkt die einzelnen Geschwindigkeitskomponenten des speziellen Punktes bestimmt. Dazu wurde die Formel:

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

verwendet. Der Radiusvektor wurde einfach vom Schwerpunkt zu dieser Zeit bis zum Randpunkt direkt gemessen. Es sollten nach dem ausrechnen nur mehr eine y-Komponente der Geschwindigkeit über bleiben, jedoch ist dies nicht der Fall, da auf Grund kleinere Fehler der spezielle Punkt nicht genau auf der Normalen zur Bahntrajektorie des Schwerpunktes zu der jeweiligen Zeit liegt. Man erhält somit eine Geschwindigkeit in negative y-Richtung (genau dorthin bewegt sich auch der Massenmittelpunkt) von  $0,720$  m/s und eine kleine Geschwindigkeit auch noch in x-Richtung von  $-0,016$  m/s in dem speziellen Punkt.

Um aus der gleichförmig beschleunigten Bewegung aus den Messpunkten die Beschleunigung zu ermitteln, muss man die Ortsgeschwindigkeit des Punktes gegen die Zeit auftragen. Aufgrund einer Krümmung der Trajektorie des Gleitkörpers am Anfang verwendeten wir nur die Messwerte ab 0,4 Sekunden nach Beginn des Experimentes. An die entstehende Kurve im Diagramm wird dann ein Polynom 2. Grad ( $bx^2+cx+d$ ) gefittet, dessen Koeffizienten  $b = a/2$ ,  $c = v(t=0,4)$  und  $d=x_0$  von  $x(t=0,4)$  aus entsprechen.



Es ergibt sich somit eine Beschleunigung  $a$  von  $(0,455 \pm 0,003) \text{ m/s}^2$ ,  $v(t=0,4)$  von  $(0,081 \pm 0,002) \text{ m/s}$  und ein  $x_0$  von  $(-0,0688 \pm 0,0008) \text{ m}$ . Jedoch aus den Massen des Gleitkörpers und des angehängten Gewichtes und der Erdbeschleunigung ergibt sich eine zu erwartende Beschleunigung von  $0,494 \text{ m/s}^2$ . Die Diskrepanz zwischen beiden Werten erklärt sich durch die Reibung und bietet auch die Möglichkeit den Reibungskoeffizienten in diesem Versuch zu bestimmen. Aus dem Verhältnis der Gleitreibungskraft zur Zugkraft (umgelenkte Schwerkraft) ergibt sich ein Reibungskoeffizient  $\mu$  von  $0,075$ . Somit ist der größte Störfaktor der ganzen Versuche am Airtabel bestimmt und dies würde eine Erhöhung der Genauigkeit ermöglichen, wenn man diesen Koeffizienten stets in die Rechnung berücksichtigen würde.

Für die Auswertung des elastischen Stoßes sind die Impulse der beiden Objekte jeweils vor und nach der Kollision zu ermitteln. Dies wird durch Abmessen der jeweiligen Fortbewegungsgeschwindigkeitsvektor und multiplizieren mit der Masse erreicht. Die Summe der Impulse in x-Richtung beträgt vor dem Stoß  $0,148 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$  und nach dem Stoß  $0,152 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$ . In y-Richtung liegt die Summe vor dem Stoß bei  $-0,153 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$  und nach dem Stoß  $-0,147 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$ . Somit ist der Gesamtimpuls vor dem Stoß von  $0,213 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$  praktisch gleich dem Gesamtimpuls nach dem Stoß von  $0,211 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$ . Die Kinetische Energie (beider Objekte) vor dem Stoß beträgt  $193 \text{ mJ}$  und nach dem Stoß sind es nur mehr  $132 \text{ mJ}$ . Die fehlenden  $61 \text{ mJ}$  wurden teilweise durch die geringe Deformation (welche bei einem nicht idealen elastischen Stoß auftritt) verbraucht oder gingen in zusätzliche Rotationsenergie der Objekte über.

Beim inelastischen Stoß sind ebenfalls die Impulse vor der Kollision gleich dem Impuls des vereinigten Objektes (also des Massenmittelpunktes desselben) nach dem Zusammenstoß. Der Impuls des leichteren und bewegten Objektes (das andere steht still, somit hat es keinen Impuls) beträgt  $0,505 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$  und der Impuls des Massenmittelpunktes nach der Kollision liegt bei  $0,500 \text{ kg}\cdot\text{m/s}$ . Die kinetische Energie vor dem Zusammenprall betrug  $129 \text{ mJ}$  und danach waren es nur mehr  $51 \text{ mJ}$ . Die restlichen  $78 \text{ mJ}$  wurden in Rotationsenergie und in Deformation (Verhackung des Klettverschlusses) umgewandelt. Die Bewegung des Schwerpunktes des Zweikörpersystems vor dem Zusammenstoß ist nicht wirklich gut nachvollziehbar, da wir zu wenige Messpunkte des bewegten Objektes vor der Kollision haben. Jedoch liegt die 3:2 Unterteilung (entsprechend dem Massenverhältnis) der Verbindungslinie zwischen dem bewegten Objekt und dem ruhenden relativ genau auf der Verlängerung der Bahntrajektorie des Massenmittelpunktes nach dem Zusammenstoß.