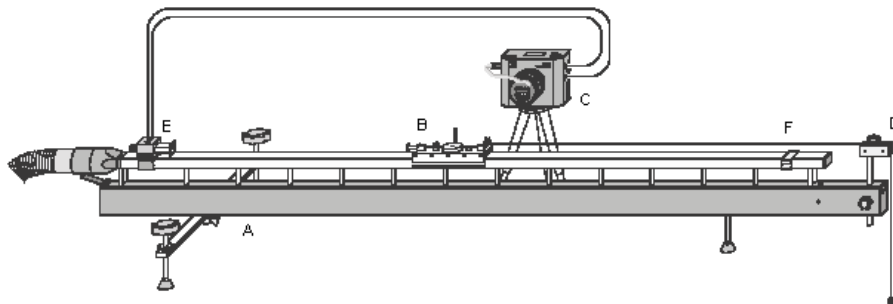


Labor für Technische Physik

Prof. Dr.-Ing. Dieter Kraus, Dipl.-Ing. W. Pieper

Versuch 1a:

Geradlinig gleichförmige und gleichmäßig beschleunigte Bewegungen



- | | |
|-----------------------|-----------------------------------|
| A: Luftkissenfahrbahn | D: Umlenkrolle |
| B: Gleiter | E: Haltemagnet mit Rändelschraube |
| C: VideoCom | F: Bremse |

1. Versuchsziele

Auf einer Luftkissenfahrbahn sollen eindimensionale Bewegungen durchgeführt und deren Weg-Zeit-Diagramme mit Hilfe einer VideoCom aufgezeichnet werden. Dabei sind gleichförmige und gleichmäßig beschleunigte Bewegungen zu untersuchen sowie das erste und zweite Newtonsche Axiom zu bestätigen. Ferner sollen die kinetische, potentielle und die Gesamtenergie der gleichmäßig beschleunigten Masse bestimmt werden.

2. Theoretische Grundlagen

Geradlinige Bewegungen eines Massepunktes:

Die Newtonschen Axiome sind grundlegend für die Beschreibung der Bewegungen eines Massenpunktes. Das erste Newtonsche Axiom (das Trägheitsgesetz) besagt:

“Jeder Massenpunkt verharrt im Zustand der Ruhe oder der geradlinigen und gleichförmigen Bewegung, solange er nicht durch eine einwirkende Kraft gezwungen wird, seinen Zustand zu ändern.“

Bei einer solchen gleichförmigen Bewegung legt der Massenpunkt auf einer geraden Bahn in gleichen Zeitintervallen Δt gleiche Strecken Δs zurück. Seine Geschwindigkeit

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (1)$$

hat einen gleich bleibenden, konstanten Wert. Zur Bestimmung der Geschwindigkeit kann ein beliebig großes Zeitintervall Δt gewählt werden, in dem die zurückgelegte Strecke Δs gemessen wird.

Ist die Bewegung nicht gleichförmig, so ändert sich die Geschwindigkeit im Laufe der Zeit. Gleichung 1 gibt dann die Durchschnittsgeschwindigkeit im Zeitintervall Δt an. Zur Bestimmung der Momentangeschwindigkeit zum Zeitpunkt t , muss das Zeitintervall Δt so klein wie möglich gewählt werden. Die Momentangeschwindigkeit erhält man daher durch Grenzübergang für immer kleinere Zeitintervalle gemäß

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{s(t + \Delta t) - s(t)}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} \quad (2)$$

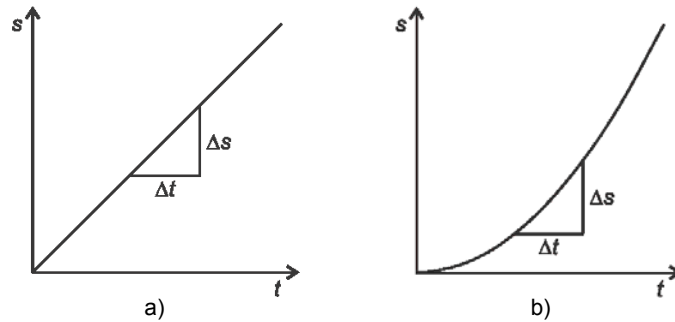


Abb.1: Weg-Zeit-Diagramm der gleichförmigen (a) und der gleichmäßig beschleunigten (b) Bewegung

Das zweite *Newtonsche* Axiom (das Aktionsprinzip), bezieht sich auf den Impuls

$$p = m \cdot v \quad (3)$$

eines Massenpunktes mit der Masse m , genauer auf den Impulsvektor. Es lautet:

“Die zeitliche Änderung des Impulsvektors ist der einwirkenden Kraft proportional und geschieht längs der Linie, in der die Kraft wirkt.“

Üblicherweise wird die Maßeinheit der Kraft so gewählt, dass der Proportionalitätsfaktor 1 ist. Dann folgt für geradlinige Bewegungen aus dem zweiten *Newtonschen* Axiom

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t} \quad (4)$$

oder für konstante Massen m

$$F = m \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (5)$$

Gleichung 5 ist in der Form

$$F = m \cdot a \quad (6)$$

als *Newtonsche* Bewegungsgleichung bekannt. Die Größe

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (7)$$

ist die Beschleunigung des Massenpunktes. Sie ist für eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung konstant. Bei ungleichmäßig beschleunigten Bewegungen gibt Gleichung 7 die Durchschnittsbeschleunigung im Zeitintervall Δt an.

Die Momentanbeschleunigung zum Zeitpunkt t ergibt sich als Grenzwert zu

$$a(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{v(t + \Delta t) - v(t)}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} \quad (8)$$

Kinetische Energie eines Massenpunktes:

Wird ein Massenpunkt der Masse m durch eine konstante Kraft F längs des Weges s gleichmäßig beschleunigt, so wird ihm die Energie

$$E = F \cdot s \quad (9)$$

zugeführt. Zwischen dem Weg s und der benötigten Zeit t besteht bei einem anfangs ruhenden Massenpunkt der Zusammenhang

$$s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \quad (10)$$

wobei

$$a = \frac{F}{m} \quad (11)$$

die konstante Beschleunigung angibt. Mit der Endgeschwindigkeit

$$v = a \cdot t \quad (12)$$

ergibt sich die kinetische Energie des Massenpunktes zu

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (13)$$

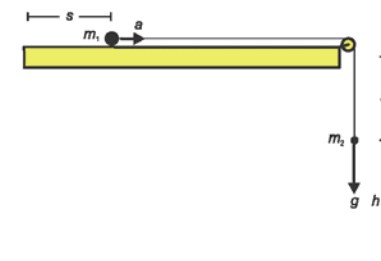


Abb.2: Schematische Darstellung zur gleichmäßig beschleunigten Bewegung.

Potentielle Energie und Gesamtenergie

Die beschleunigende Kraft F kann z.B. dem Gewicht einer zweiten Masse m_2 im Schwerfeld der Erde entsprechen, die über einen Faden an der ersten Masse zieht (siehe Abb. 2). Dann ist

$$F = m_2 \cdot g \quad (14)$$

Diese Masse befindet sich zu Anfang auf einer Höhe h und besitzt die potentielle Energie

$$E_{pot} = m_2 \cdot g \cdot h. \quad (15)$$

Während die erste Masse die Strecke s zurücklegt, fällt die zweite Masse um die gleiche Strecke. Ihre potentielle Energie ist daher während des Fallens

$$E_{pot} = m_2 \cdot g \cdot (h - s) \quad (16)$$

Da die fallende Masse ebenfalls beschleunigt wird, muss sie bei der Berechnung der kinetischen Energie berücksichtigt werden. Daher ist als Masse m in den Gleichungen 11 und 13 die Gesamtmasse

$$m = m_1 + m_2 \quad (17)$$

einzusetzen.

Aufzeichnung der Bewegung mit der VideoCom:

Im Versuch werden die Bewegungen des Gleiters auf der Luftkissenfahrbahn mit Hilfe einer einzeiligen CCD-Kamera (VideoCom) aufgenommen. An der Kamera ist ein Aufsatz mit LEDs befestigt, die Lichtpulse mit einer Wiederholrate von bis zu 80 Hz erzeugen. Am Gleiter werden Unterbrecherfahnen mit retroreflektierender Beschichtung befestigt. Die von den Unterbrecherfahnen reflektierten Lichtpulse werden mit einem Kameraobjektiv auf eine CCD-Zeile mit 2048 Pixeln abgebildet

Die Messwerte werden über eine serielle Schnittstelle an den Computer übertragen. Das Programm ‚VideoCom‘ stellt den Bewegungsverlauf des Gleiters als Weg-Zeit-Diagramm dar und ermöglicht die weitere Auswertung der Messdaten. Desweiteren wird ein Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm gemäß

$$v(t) = \frac{s(t + \Delta t) - s(t - \Delta t)}{2 \cdot \Delta t} \quad (18)$$

und ein Beschleunigungs-Zeit-Diagramm gemäß

$$a(t) = \frac{v(t + \Delta t) - v(t - \Delta t)}{2 \cdot \Delta t} \quad (19)$$

errechnet und dargestellt. Das Zeitintervall Δt wird durch die Messung vorgegeben.

3. Versuchsaufbau**Geräteliste**

1	Luftkissenfahrbahn	337 501
1	Luftversorgung	337 53
1	Leistungsstellgerät	337 531
1	VideoCom - Einzeilige CCD-Kamera	337 47
1	Steckernetzgerät 230 V / 12 V / 20 W	562 791
1	Kamerastativ	300 59
1	Stativstange 10 cm	300 40
1	Metallmaßstab	311 02
1	Computer mit CASSY Lab	

Der Versuchsaufbau ist auf der Titelseite dieser Anleitung dargestellt.

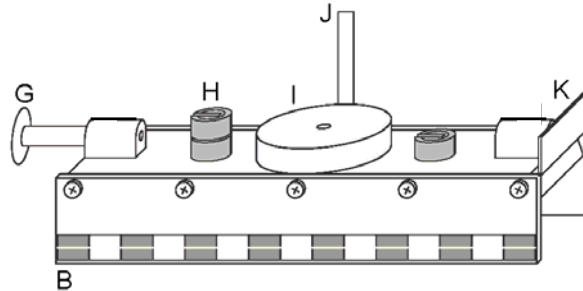
Aufbau der Luftkissenfahrbahn (A):

- Den Haltemagneten mit dem Klemmreiter (E) auf die Fahrbahnschiene nahe der Luftzufuhr aufstecken.
- Die Bremse (F) kurz vor dem anderen Ende der Fahrbahnschiene aufstecken.
- Die auf einer 10 cm langen Stativstange befestigte Umlenkrolle (D) am Trägerrohr am Ende der Luftkissenfahrbahn montieren.
- Die Luftkissenbahn möglichst horizontal ausrichten: Hierzu einen Gleiter (B) auf die Fahrbahnschiene setzen, die Luftzufuhr mit dem Leistungsstellgerät so einstellen, dass der Gleiter auf der Schiene schwebt. Nun die Luftkissenfahrbahn mit Stellschrauben nachjustieren, bis der Gleiter an verschiedenen Stellen der Fahrbahn ruht.

Aufbau der VideoCom (C):

- Im Display der Kamera überprüfen, ob der Modus ‚s($\Delta t=100\text{ms}$)‘ eingestellt ist. Andernfalls kann der Haltemagnet im späteren Verlauf nicht korrekt ausgelöst werden.
- Der aufgeschraubte LED-Blitz muss mit der ‚LED‘-Buchse der Kamera verbunden sein.
- Die VideoCom auf dem Kamerastativ befestigen und in einem Abstand von ca. 2 m zur Luftkissenfahrbahn aufstellen. Die Kamera auf die gleiche Höhe sowie parallel zur Fahrbahnschiene ausrichten.
- Am Kameraobjektiv eine kleine Blendenöffnung (große Blendenzahl von 16 oder 22) und die Entfernung auf die Distanz zur Luftkissenfahrbahn (2 m) einstellen.
- Den Haltemagneten (E) mit dem zweipoligen Kabel an die VideoCom anschließen.

- Die VideoCom über das Steckernetzgerät mit Spannung versorgen und mit Hilfe des Seriell-USB Adapters mit dem Computer verbinden (USB-Buchse auf der linken Seite verwenden).
- Das Programm „VideoCom Bewegungen“ aufrufen. Falls die VideoCom nicht erkannt wird, eine andere serielle Schnittstelle (COM3 ... COM8; nicht USB !) wählen.



B: Gleiter	G: Halteplatte
H: 1 g Masse	I: 100 g Masse
J: Unterbrecherfahne	K: Fadenhalter

Ausrichtung der VideoCom:

- Zwei Gleiter mittig mit retroreflektierenden Unterbrecherfahnen (J) und einen Gleiter mit einer Halteplatte (G) ausrüsten.
- Bei abgeschalteter Luftzufuhr den Gleiter mit Halteplatte auf die Fahrbahnschiene stellen und an den Haltemagneten (E) schieben; Unterbrecherfahne auf die der Kamera zugewandten Seite.
- Den zweiten Gleiter am anderen Ende der Fahrbahnschiene neben der Bremse (F) so platzieren, dass der Abstand der Unterbrecherfahnen exakt 1 m beträgt.
- Im Programm „VideoCom Bewegungen“ die rechte Registerkarte „Intensitätstest“ anwählen.
- Die VideoCom parallel und mittig zur Fahrbahnschiene ausrichten, sodass zwei etwa gleich große Reflexionssignale innerhalb des Aufnahmebereiches angezeigt werden.
- Bei schlechtem Intensitätsverhältnis von Reflexionssignal zum Untergrund:
 - Objektiveinstellungen für Blende und Entfernung überprüfen
 - Reflexionen und störendes Fremdlicht eliminieren, evtl. Versuchsbereich abdunkeln

Einstellung des Haltemagneten:

- Den zweiten Gleiter entfernen. Den Gleiter mit der Halteplatte mit einem Fadenhalter ausrüsten und daran einen ca. 1,35 m langen Faden befestigen. Den Faden über die Umlenkrolle (D) führen und eine Masse von 1 g anhängen.
- Die Luftzufuhr einschalten, optimalen Luftstrom einstellen und den Gleiter an den Haltemagneten schieben.
- Den Eisenkern des Haltemagneten mit der Rändelschraube so verstellen, dass der Gleiter gerade noch gehalten wird und nach Drücken der Taste Start an der VideoCom-Kamera losfährt. (Falls erforderlich, die Versorgungsspannung für Haltemagneten mit dem Stellknopf am VideoCom-Gehäuse ändern; Standardeinstellung: ca. 2V).

Korrektur der Verzeichnung:

- Einen Gleiter mit zwei Unterbrecherfahnen im Abstand von 5 cm ausstatten und an den Haltemagneten schieben.
- Im Programm „VideoCom Bewegungen“ die Darstellung „Weg“ anwählen.
- Mit dem Button oder der Taste F5 das Fenster „Einstellungen/Wegkalibrierung“ aufrufen und folgende Einstellungen vornehmen:

Register „Messvorgaben“:

Δt	100 ms (10 fps)
Blitz	Auto
Glättung	Standard (4 × dt)
Stopp der Messung	bei Erreichen des Weges $s = 1$ m

Register „Wegkalibrierung“:

1. Position 0 m
 2. Position 0,05 m
- Schaltfläche „Pixel aus Anzeige ablesen“ anklicken
Optionsfeld „Kalibrierung verwenden“ aktivieren
Einstellungen mit „OK“ Button übernehmen

Hinweis: Wenn die Gleiter in der oberen Anzeige auf der rechten Seite angezeigt werden, die „Wegkalibrierung“ erneut aufrufen und die Schaltfläche „Position spiegeln“ anklicken.

- Mit dem Button oder der Taste F9 Messung starten und Bewegung des Gleiters aufzeichnen.
- Anschließend im Register „Linearisierung“ des Menüs „Einstellungen/Wegkalibrierung“ die Schaltfläche „Linearisierung vorschlagen“ anklicken.

Wenn ein Winkel $\alpha \geq 0,1^\circ$ angezeigt wird, steht die Luftkissenfahrbahn noch nicht im richtigen Winkel zur VideoCom (siehe Abb.3). In diesem Fall

- Die Linearisierung mit der Schaltfläche „Abbruch“ verwerfen.
- Die Verzeichnung durch manuelles Verschieben der Luftkissenfahrbahn korrigieren.
- Alte Messwerte mit F4 löschen
- Die Bewegung des Gleiters erneut aufzeichnen und den Winkel α ermitteln.
- Den Vorgang so lange wiederholen, bis der Winkel $\alpha \leq 0,1^\circ$ ist.
- Dann „Linearisierung verwenden“ aktivieren und Verzeichnung δ übernehmen.

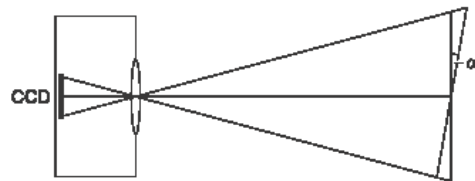


Abb.3: Zur Definition des Winkels α zwischen Luftkissenfahrbahn und VideoCom

Wegkalibrierung:

- Zwei Gleiter mit jeweils einer Unterbrecherfahne ausrüsten. Einen Gleiter an den Haltemagneten schieben und bei abgeschalteter Luftzufuhr den zweiten Gleiter so auf die Luftkissenfahrbahn positionieren, dass der Abstand zwischen den Unterbrecherfahnen genau 1 m beträgt.
- Im Menü „Einstellungen/Wegkalibrierung“ das Register „Wegkalibrierung“ aufrufen und die Positionen der Gleiter gemäß folgender Tabelle eintragen:

Bewegungsrichtung des Gleiter aus der Kameraperspektive	'1. Position'	'2. Position'
links nach rechts	0 m	1 m
rechts nach links	1 m	0 m

- Schaltfläche „Pixel aus Anzeige ablesen“ anklicken und „Kalibrierung verwenden“ aktivieren.
- Die Positionszuordnung durch Abschatten der Gleiter überprüfen.

Bedienungshinweise zum Programm ‚VideoCom Bewegungen‘:

- Messung starten oder stoppen: Button oder Taste F9.
- Messdaten speichern: Button oder Taste F2
- Alte Messwerte löschen: Button oder Taste F4
- Fenster „Einstellungen“ aufrufen: Button oder Taste F5
- Auswertungen: Kontextmenu über rechte Maustaste: z.B. Zoomen, Markierung setzen, Mittelwert einzeichnen oder Diagramm kopieren
- Formel eingeben: Fenster „Einstellungen“; Register Formel :z.B. $0,5 \cdot 100 \cdot v_1^2$ bei Formeln eingeben, Größe, Symbol und Einheit sinnvoll wählen

4. Versuchsdurchführung

Für alle folgenden Messungen muss die Luftzufuhr so eingestellt werden, dass die Gleiter mit minimaler Reibung über der Fahrbahn schweben.

a) Gleichförmige Bewegung

- Messen sie das Weg-Zeit-Diagramm einer gleichförmigen Bewegung.
- Hierzu einen Gleiter ohne Faden durch leichtes Anstoßen in Bewegung versetzen.

b) Gleichmäßig beschleunigte Bewegung

- Eine Masse von 1 g an dem über die Umlenkrolle geführten Faden anhängen und den Gleiter an den Haltemagneten schieben.
- Messen sie das Weg-Zeit-Diagramm der gleichmäßig beschleunigten Bewegung.

c) Beschleunigte Bewegung in Abhängigkeit von der beschleunigenden Kraft F

- Die Gesamtmasse aus Gleiter und angehängter Masse soll im Folgenden 100 g betragen. Hierzu drei 1 g Massen auf den Gleiter stecken, so dass die Gesamtmasse von Gleiter und der 1 g Masse am Faden 100 g beträgt (vergleiche Gleichung 17). Die genaue Masse kann mit der Waage ermittelt werden.
- Messen sie die Weg-Zeit-Diagramme für beschleunigende Massen von 1 g, 2 g, 3 g und 4 g, wobei die Gesamtmasse konstant bleiben soll. Hierzu jeweils eine 1 g Masse vom Gleiter nehmen und diese zusätzlich an den Faden hängen.

Hinweis: Um mehrere Messkurven in einem Diagramm darzustellen, fügen sie die neue Messreihe jeweils an.

d) Beschleunigte Bewegung in Abhängigkeit von der beschleunigten Masse m

- Für die folgenden Messungen verteilen sie die 1 g Massen zu 2 g auf den Gleiter und 2 g als beschleunigende Kraft am Faden.
- Messen sie die Weg-Zeit-Diagramme für zu beschleunigende Massen von 100 g, 200 g, 300 g und 400 g. Hierzu für die letzteren drei Fälle jeweils eine zusätzliche 100 g Masse auf den Gleiter legen.

5. Auswertung

a) Gleichförmige Bewegung

- Für die Messungen sind die Zeitfunktionen für die folgenden Größen grafisch darzustellen und zu erläutern:
 - Weg
 - Geschwindigkeit

b) Gleichmäßig beschleunigte Bewegung:

- Für die Messungen sind die Zeitfunktionen für die folgenden Größen grafisch darzustellen und zu erläutern:
 - Weg
 - Geschwindigkeit
 - Beschleunigung

c) Beschleunigte Bewegung in Abhängigkeit von der beschleunigenden Kraft F:

- Grafische Darstellung der Zeitfunktionen für die folgenden Größen mit dem Parameter ‚beschleunigende Kraft F‘
 - Weg
 - Geschwindigkeit
- Grafische Darstellung der beschleunigenden Kraft F in Abhängigkeit der Beschleunigung a für eine konstant beschleunigte Masse (m = 100 g).
 - Hierzu im Menü „Einstellungen/Wegkalibrierung“ das Register „Newton“ anwählen und als veränderlichen Parameter durch Anklicken „beschleunigende Kraft F (m konstant)“ wählen.
 - Im Beschleunigungs-Zeit-Diagramm die Mittelwerte der Beschleunigungen a bestimmen und in die erste Spalte der Wertetabelle des Registers „Newton“ eintragen. In die zweite Spalte wird die zugehörige Kraft F eintragen.
- Darstellung der kinetischen Energie als Zeitfunktion mit dem Parameter ‚Kraft F‘
 - Die Formel $E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ kann unter der Registerkarte „Formel“ eingetragen werden:

Größe	Energie
Symbol	Ekin
Einheit	mJ
Minimum	0
Maximum	40
Formeln	0,5 * 100 * v1^2 0,5 * 100 * v2^2 0,5 * 100 * v3^2 0,5 * 100 * v4^2

Minimum und Maximum zweckmäßig wählen

Nach Bestätigung mit „OK“ bestätigen; erscheint im Hauptfenster das neue Register „Energie“ .

- Darstellung der potentiellen Energie als Zeitfunktion mit dem Parameter ‚Kraft F‘

Symbol	Epot
Formeln	n * 9,81 * (1 - sn) , n = 1, 2, 3, 4
- Darstellung der Gesamtenergie als Zeitfunktion mit dem Parameter ‚Kraft F‘

Symbol	Eges
Formeln	0,5 * 100 * vn^2 + n * 9,81 * (1 - sn) , n = 1, 2, 3, 4

d) Beschleunigte Bewegung in Abhängigkeit von der beschleunigten Masse m:

- Darstellung des Weg-Zeit-Diagramms in Abhängigkeit der Masse m.
- Darstellung des Beschleunigungs-Zeit-Diagramms in Abhängigkeit der Masse m.
- Darstellung des m(1/a)-Diagramms.
 - Im Register „Newton“ als veränderlichen Parameter „Masse m (Darstellung gegen 1/a)“ wählen.
 - Mittelwerte der Beschleunigungen a in die erste Spalte der Wertetabelle des Registers „Newton“ und in die zweite Spalte die zugehörige Massen m eintragen.
- Darstellung der kinetischen Energie als Zeitfunktion mit dem Parameter ‚Masse m‘

Größe	Energie
Symbol	Ekin
Einheit	mJ
Formeln	0,5 * m * vn^2 , n = 1, 2, 3, 4 , m = 100, 200, 300, 400
Minimum und Maximum zweckmäßig wählen	
- Darstellung der potentiellen Energie als Zeitfunktion mit dem Parameter ‚Masse m‘

Symbol	Epot
Formeln	2 * 9,81 * (1 - sn) , n = 1, 2, 3, 4
- Darstellung der Gesamtenergie als Zeitfunktion mit dem Parameter ‚Masse m‘

Symbol	Eges
Formeln	0,5*m*vn^2 + 2*9,81*(1-sn) , n = 1, 2, 3, 4 , m = 100, 200, 300, 400
- Erläutern Sie die Messergebnisse.

Literatur

- [1] Hering, Martin, Stohrer: Physik für Ingenieure, Springer-Lehrbuch
- [2] Kuchling: Taschenbuch der Physik, Fachbuchverlag Leipzig
- [3] Eichler, Kronfeld, Sahn: Das Neue Physikalische Grundpraktikum, Springer-Lehrbuch