Versuch A 13: Luftkissenfahrbahn

1. Literatur: Gerthsen/Kneser, Physik
Bergmann/Schäfer, Experimentalphysik, Bd.I
Pohl, Einführung in die Physik, Bd.I
Berkeley Physik Kurs, Bd.I

Stichworte: Geradlinige Bewegung und Bewegungsgesetze, Energieformen, Energieerhaltung, Kraftstoß, Impuls, Impulserhaltung, Newtonsche Axiome, d'Alembertsches Prinzip, Schiefe Ebene

2. Grundlagen

2.1 Geradlinige Bewegung

Die translatorische Bewegung eines Körpers im Raume wird beschrieben durch seine Lage $\underline{r}$ ("_" = Vektor) als Funktion der Zeit t relativ zu einem ortsfesten Bezugspunkt: $\underline{r} = \underline{r}(t)$. Beschränkt man sich auf die geradlinige Bewegung und legt den Bezugspunkt auf den Ort des Körpers zur Zeit t = 0, so zeigt der Vektor $\underline{r}(t)$ in Richtung der Bewegung und hat die Länge der in der Zeit t zurückgelegten Wegstrecke s(t).

Bei einer *gleichförmigen* geradlinigen Bewegung eines Körpers ist seine Geschwindigkeit v das Verhältnis der in der Zeit Δt zurückgelegten Wegstrecke $\Delta s = s(t + \Delta t) - s(t)$ zu Δt. Dieses ist unabhängig von der Zeit:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s(t + \Delta t) - s(t)}{\Delta t} = \text{const.} \qquad (1)$$

Bei der *nichtgleichförmigen* geradlinigen Bewegung eines Körpers ist die Geschwindigkeit zeitabhängig und mit dem Differenzenquotienten in Gl.(1) wird lediglich die Durchschnittsgeschwindigkeit v im Zeitintervall zwischen t und $t + \Delta t$ beschrieben.

Die Geschwindigkeit v(t) (= Momentangeschwindigkeit) des Körpers ist durch den Grenzwert von v für $\Delta t \to 0$, d.h. den Differentialquotienten gegeben:

$$v(t) = \lim_{t \to 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt} \qquad (2)$$

Die Beschleunigung a des Körpers ist gleich der zeitlichen Ableitung der Geschwindigkeit nach der Zeit bzw. der zweiten zeitlichen Ableitung des Weges:

$$a(t) = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 s}{dt^2} \qquad (3)$$

Ist die Beschleunigung a des Körpers bekannt, können umgekehrt Geschwindigkeit v(t) und Weg s(t) aus Gl.(3) durch zeitliche Integration mit Kenntnis der Anfangsbedingungen $v(t_0)$ u. $s(t_0)$ bestimmt werden:

$$v(t) = \int_{t_0}^{t} a\,dt' + v(t_0)\ , \qquad s(t) = \int_{t_0}^{t} v\,dt' + s(t_0) \qquad (4)$$

Bei einer gleichförmig beschleunigten Bewegung ist a eine zeitliche Konstante und es folgt mit Gln.(4):

$$v(t) = at + v(t_0)\ , \qquad s(t) = \frac{1}{2}at^2 + v(t_0)\,t + s(t_0) \qquad (5)$$

<u>Bemerkung:</u> So wie die Wegstrecke s hier mit der Länge des Vektors $\underline{r}$ definiert wurde, sind auch die aus s abgeleiteten Größen v und a lediglich die Längen des Geschwindigkeitsvektors $\underline{v}$ bzw. Beschleunigungsvektors $\underline{a}$. Bei der geradlinigen Bewegung sind $\underline{v}$ und $\underline{a}$ hier zu $\underline{r}$ parallele oder antiparallele Vektoren.

2.2 Newtonsche Axiome

"*Jeder Körper beharrt in seinem Zustand der Ruhe oder gleichförmigen geradlinigen Bewegung, wenn er nicht durch einwirkende Kräfte dazu gezwungen wird, seinen Zustand zu ändern.*" In diesem ersten der von Newton 1686 formulierten drei Axiome wird jedem materiellen (= Masse-) Körper ein Beharrungsvermögen (Trägheit) zugeschrieben. Dieses bewirkt, dass ohne eine einwirkende (äußere) Kraft $\underline{F}$ die Größe der Bewegung eines Körpers, d.h. das Produkt aus seiner Masse m und seiner Geschwindigkeit $\underline{v}$, also sein Impuls $\underline{p}$ zeitlich unverändert bleibt (Trägheitsprinzip):

$$\underline{F} = 0: \qquad \underline{p} = m\underline{v} = \text{const.} \qquad (6)$$

Dieser Satz von der Erhaltung des Impulses kann experimentell durch Messung der Geschwindigkeit über Weg-Zeit-Messungen geprüft werden. Bezugssysteme für die Messung, in denen Gl.(6) gilt, nennt man *Inertialsysteme*. Gl.(6) gilt für einzelne Massenpunkte und kann auf ein System von Massenpunkten bzw. ausgedehnte (nicht rotierende) starre Körper erweitert werden, wobei dann $\underline{p}$ den Gesamtimpuls, m die Gesamtmasse (Summe der Einzelimpulse bzw. -massen) und $\underline{v}$ die Geschwingigkeit des Schwerpunktes darstellt.

Wirkt auf einen beweglichen Körper eine Kraft $\underline{F}$*, so ist* - wie das 2. Newtonsche Axiom besagt - *die zeitliche Änderung seines Impulses proportional zur einwirkenden Kraft und in Richtung der Kraft* (Aktionsprinzip). Mit der Festlegung: Proportionalitätskonstante = 1 gilt:

$$\underline{F} = \frac{d\underline{p}}{dt} = m\frac{d\underline{v}}{dt} = m\underline{a} \tag{7}$$

Nach Gl.(7), dem *Grundgesetz der Mechanik* (Beschleunigungsgesetz oder allgemeiner Impulssatz) ist die Kraft $\underline{F}$ die die Beschleunigung $\underline{a}$ bewirkende Größe. (Krafteinheit: 1 Newton; 1 N = 1 kg m/s^2). $\underline{F}$ ist proportional zu $\underline{a}$ mit der Einschränkung, dass m eine Konstante ist (z.B. nicht von v abhängt; v << c = Lichtgeschwindigkeit). Gl.(7) ist durch Bemerkungen analog Gl.(6) zu ergänzen.

Das dritte Newtonsche Axiom besagt, dass *die Kraftwirkungen zweier Körper aufeinander stets gleich und entgegengerichtet sind*, d.h. dass Kräfte in der Natur nur paarweise auftreten (Reaktionsprinzip). Übt ein Körper 1 auf einen Körper 2 die Kraft $\underline{F}_{12}$ aus, so wirkt der Körper 2 umgekehrt mit der Kraft $\underline{F}_{21}$ auf den Körper 1, so dass:

$$\underline{F}_{12} = -\underline{F}_{21} \tag{8}$$

2.3 Prinzip von d'Alembert

Man kann das Beschleunigungsgesetz, Gl.(7) auch umschreiben in die Form

$$\underline{F} - m\underline{a} = \underline{F} + \underline{F}^* \tag{9}$$

und das Produkt $\underline{F}^* = -\, m\,\underline{a}$ als *Trägheitskraft* auffassen, welche mit der

eingeprägten Kraft $\underline{F}$ im Gleichgewicht steht. Man hat durch Einführung der Trägheitskraft als Scheinkraft ein beschleunigtes System auf ein System, in dem die Kräfte im Gleichgewicht stehen, reduziert (d'Alembert 1743). Im Gegensatz zum statischen Gleichgewicht handelt es sich hier jedoch um ein *dynamisches Gleichgewicht*. Das Prinzip von d'Alembert ermöglicht die Vereinfachung insbesondere komplizierter mechanischer Probleme durch Aufstellung von Gleichgewichtsbedingungen für alle in einem mech. System wirkenden eingeprägten Kräfte $\underline{F}$ und Trägheitskräfte $\underline{F}^*$.

2.4 Kraftstoß und Impuls

Wirkt eine Kraft $\underline{F}$ während einer Zeitspanne Δt auf einen beweglichen Körper, etwa während eines Stoßes, so folgt mit Gl.(7):

$$\int_t^{t+\Delta t} \underline{F}\,dt = \int_t^{t+\Delta t} \frac{d\underline{p}}{dt}\,dt = \underline{p}(t+\Delta t) - \underline{p}(t) = \Delta\underline{p} \tag{10}$$

Der auf den Körper übertragene Impuls $\Delta\underline{p}$ ist gleich dem auf ihn ausgeübten Kraftstoß $\int \underline{F}\,dt$ (daher die Bezeichnung "Impuls").

Stoßen zwei Körper 1 und 2 mit Impulsen $\underline{p}_1$ und $\underline{p}_2$ aufeinander, so sind wegen des Reaktionsprinzips, Gl.(8), ihre Kraftstöße gleich und entgegengesetzt, so auch die beim Stoß übertragenen Impulse $\Delta\underline{p}_1 = -\Delta\underline{p}_2$. Für den Gesamtimpuls $\underline{p}_1' + \underline{p}_2'$ der Körper nach dem Stoß folgt damit

$$\underline{p}_1' + \underline{p}_2' = \underline{p}_1 + \Delta\underline{p}_1 + \underline{p}_2 - \Delta\underline{p}_1 = \underline{p}_1 + \underline{p}_2 \tag{11}$$

Der Gesamtimpuls der Körper bleibt also - unabhängig von der Art des Stoßes - ungeändert. Dies folgt auch aus dem Trägheitsprinzip, Gl.(6) für ein System von Massepunkten, da während des Stoßes keine äußeren Kräfte wirken. Die Größe des jeweils übertragenen Impulses $\Delta\underline{p}_1$ bzw. $\Delta\underline{p}_2$ bleibt hierbei jedoch noch unbestimmt. Sie ist von der Art des Stoßes und der beteiligten Massen abhängig (s.u.).

2.5 Arbeit und Energie

Wirkt eine Kraft $\underline{F}$ auf einen Körper längs einer durch sie bewirkten Verlagerung d$\underline{s}$, so wird an dem Körper die mechanische *Arbeit*

$$dW = \underline{F}\,d\underline{s} = F\,ds \qquad 12)$$

verrichtet und ihm die der Arbeit dW entsprechende *Energie* dE zugeführt: dW = dE. Hierbei kann es sich z.B. um Hubarbeit an einer Masse m um die Höhe h im Schwerefeld $\underline{g}$ der Erde handeln:

$$dW = m g\, dh \;, \qquad W = m g h \qquad (13)$$

oder um die Arbeit zum Spannen einer Feder (Federkonstante f) um die Strecke x:

$$dW = f\,x\,dx = \frac{1}{2} f\, d(x^2) \;, \qquad W = \frac{1}{2} f\, x^2 \qquad (14)$$

oder um die Arbeit zum Beschleunigen eines frei beweglichen Körpers der Masse m auf die Geschwindigkeit v:

$$dW = m\,a\,ds = m \frac{dv}{dt} v\,dt = \frac{1}{2} m\, d(v^2) \;, \quad W = \frac{1}{2} m v^2 \qquad (15)$$

Die Körper sind in den hier genannten Beispielen durch die an ihnen verrichtete Arbeit ihrerseits in der Lage Arbeit zu verrichten, d.h. sie besitzen entweder Energie der Lage, d.h. potentielle Energie E_{pot} (Gl.(13,14)), oder Energie der Bewegung, d.h. kinetische Energie E_{kin} (Gl.(15)).

Darüber hinaus kann an einem Körper Arbeit verrichtet werden, wobei ein Teil der Arbeit oder die gesamte Arbeit in Wärmeenergie umgewandelt wird (dW = dQ). Letzteres geschieht z.B. bei der plastischen Verformung oder bei der gleichförmigen Bewegung eines Körpers gegen eine (konstante) Reibungskraft. Die Erfahrung besagt, dass in einem System ohne Energieaustausch mit der Umgebung (abgeschlossenes System) die Summe aller Energien konstant bleibt (Satz von der Erhaltung der Energie). Wird in einem abgeschlossenen mechanischen System keine Energie im Wärme umgewandelt (und umgekehrt), ist insbesondere die Summe von potentieller und kinetischer Energie eine Konstante:

$$E = E_{pot} + E_{kin} \qquad (16)$$

2.6 Elastischer Stoß

Stoßen zwei Körper mit Impulsen $\underline{p}_1$ und $\underline{p}_2$ aufeinander, so bleibt ihr Gesamtimpuls - wie schon im Abschn. 2.4 erwähnt - ungeändert (Gl.(11)). Werden die Körper beim Stoß lediglich elastisch verformt, muss wegen der Energieerhaltung, Gl.(16), ihre gesamte kinetische Energie nach dem Stoß ebenfalls ungeändert sein, da potentielle Energie der Verformung nur in der Zeitspanne des Stoßes auftritt:

$$E_{kin} = \frac{p_1^2}{2m_1} + \frac{p_2^2}{2m_2} = E_{kin}' = \frac{p_1'^2}{2m_1} + \frac{p_2'^2}{2m_2} \qquad (17)$$

Bewegen sich die beiden Körper vor dem Stoß längs einer Geraden und erfolgt der Stoß zentral, so ergibt sich für den Impulsübertrag Δp_1 mit Gln.(11) und (17):

$$\Delta p_1 = \frac{2(m_1 p_2 - m_2 p_1)}{m_1 + m_2} \qquad (18)$$

3. Aufgabenstellung

1. Aufgabe: Überprüfen Sie den Energieerhaltungssatz beim elastischen Stoß eines Gleiters auf einer Luftkissenfahrbahn durch Weg-Zeit-Messungen. Berechnen Sie die aufgrund nicht idealer Versuchsbedingungen auftretende Verlustenergie.

2. Aufgabe: Bestimmen Sie die durch ein Gewicht bewirkte gleichmäßige Beschleunigung eines Gleiters auf der Luftkissenfahrbahn aus Weg-Zeit-Messungen. Berechnen Sie den theoretischen Wert der Beschleunigung nach dem d'Alembertschen Prinzip und vergleichen Sie ihn mit dem experimentell ermittelten Wert. Verifizieren Sie den Energieerhaltungssatz der Mechanik und berechnen Sie die unterschiedlichen Anteile des beschleunigten Systems.

3. Aufgabe: Bestimmen Sie die Erdbeschleunigung durch Weg-Zeit-Messungen eines Gleiters auf der schräggestellten Luftkissenfahrbahn (schiefe Ebene).

4. Versuchsdurchführung und Auswertung

4.0 Versuchsaufbau

Ein geeignetes Laborsystem zur Untersuchung der Bewegung von Massekörpern unter Einwirkung definierter Kräfte stellt die Lufkissenfahrbahn dar. Eine Gleitschiene mit hat auf ihren oberen Seiten eine Anzahl feiner Löcher, durch die über ein Gebläse Luft gepresst wird. Dem Profil der Schiene angepasst können sich Gleiter nahezu reibungslos auf dem Luftpolster bewegen. Eine Startvorrichtung an einem Ende der Schiene gestattet reproduzierbare Impulsüberträge auf den Gleiter. Zwei Lichtschranken ermöglichen in Verbindung mit einem Zeitmesser die Messung der für feste Weglängen benötigten Fahrzeiten oder der Durchlaufzeiten einer auf den Gleiter gesteckten Fahne.

Es werden zwei leicht unterschiedliche Fahrbahnen benutzt, die mit ihrem jeweiligen Zubehör in der folgenden Beschreibung mit I bzw. II bezeichnet sind.

Zu Beginn des Versuches sind die Oberfläche der Fahrbahn und die Unterseite des Gleiters auf Unebenheiten zu untersuchen. Nach Einschalten des Gebläses (Stärke ca. 4) müss der Gleiter einwandfrei auf einem Luftpolster schweben. Eine Justierung der Bahnen wurde bereits vorgenommen. Eine Nachjustierung erfolgt nur durch den betreffenden Betreuer des Versuchs.

Der Gleiter kann mittels einer Startvorrichtung in eine gleichförmige Bewegung versetzt werden. Abb.1 zeigt den Startvorgang für Bahn I:

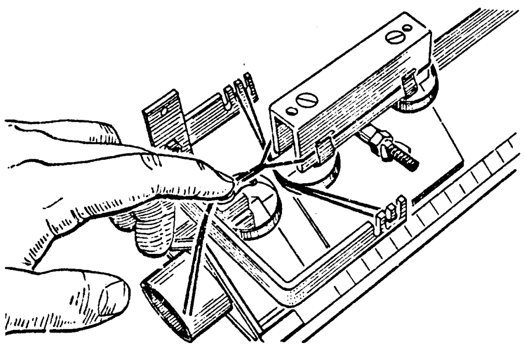

Abb.1: Startvorrichtung des Gleiters (I)

Der Gleiter wird gegen ein Gummiband gedrückt und dann losgelassen. Durch unterschiedliche Dehnung des Gummibands kann der Gleiter auf verschiedene Geschwindigkeiten gebracht werden.

An der Bahn II ist eine Startvorrichtung montiert, bei der eine Stahlfeder in drei verschiedenen Stufen gespannt werden kann. Die Feder wird mit einem Drahtauslöser entspannt und gestattet jeweils definierte Impulsüberträge an den Gleiter II. Vor dem Start wird der Gleiter mittels eines aufgesteckten Haftmagneten an der Vorrichtung gehalten.

An der Schiene sind jeweils zwei Lichtschranken montiert, die an die Eingänge 1 und 3 (mit Spannungsversorgung) des Zeitmessers angeschlossen werden. Abb. 2 zeigt die Front des Messgeräts. Im vorliegenden Versuch werden zwei Betriebsarten genutzt. In Position 1 des Schalters (7) wird die Zeitmessung an den Startbuchsen (3) durch ein fallendes Signal (negative Flanke (2)) gestartet (s. Kap. 4.2 u. 4.3). Das Eintreten der Gleiterfahne in den Lichtstrahl einer Schranke (negative Flanke (6)) stoppt die jeweilige Zeitmessung und zeigt sie im betreffenden Fenster (9) an. In Position 3 des Schalters wird die Dunkelzeit (Strahlunterbrechung) durch die Fahne der an Kanal 1 u. 3 angeschlossenen Lichtschranken im Vor- und Rücklauf des Gleiters gemessen und in den Fenstern 1 u.2 (Kanal 1) sowie 3 u. 4 (Kanal 3) angezeigt (Kap. 4.1).

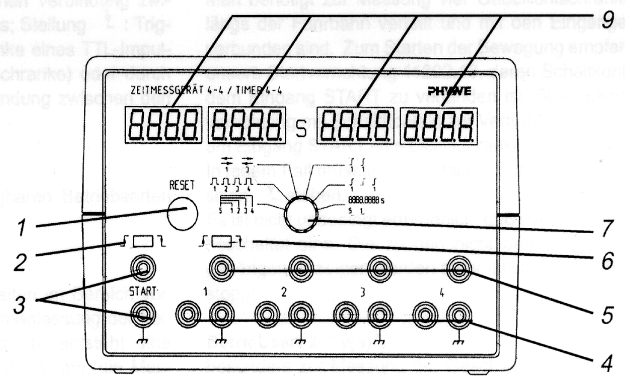

Abb.2: Zeitmessgerät:
1 Rückstelltaste; 2 Flankeneinstellung Startsignal; 3 Startbuchsen; 4, 5 Lichtschrankenanschlüsse 1-4; 6 Flankeneinstellung Lichtschranken; 7 Betriebs-artenschalter; 9 Zeitanzeigen

4.1 Elastischer Stoß

Der Gleiter wird wie zuvor beschrieben gestartet. Am anderen Ende der Bahn I erfolgt zwischen einer dort angebrachten Feder und der Rückstoßfeder des Gleiters ein elastischer Stoßvorgang. Bei der Bahn II erfolgt der Stoß zwischen einem am Gleiter aufgesteckten Steg und einem über die Bahn gespannten Gummiband (ähnlich der Startvorrichtung I), dessen Position längs der Schiene verstellbar ist Es wird hier bei etwa 20 cm vor Bahnende montiert. Es ist die kinetische Energie des Gleiters vor und nach dem Stoß zu bestimmen. Zur Messung seiner Geschwindigkeit wird eine Lichtschranke ca. 20 cm vor der Stoßposition angebracht (Anschluss an Kanal 1), die andere ca. 20 cm hinter der Startposition (Vorderkante Fahne) des Gleiters (Anschluss Kanal 3). Die Digitaluhr (Schalter 7 in Pos. 3) misst dann die Durchlaufzeit Δt der Fahne (Länge l = 10 cm) kurz nach dem Start, vor und nach dem Stoß und zuletzt nach dem Rücklauf. Die Zeitmessung gestattet (nach Wiegen des Gleiters) die Impuls- bzw. Energieänderung beim Stoß sowie infolge der Reibung längs der Bahn zu bestimmen.

Der Versuch ist für 3 verschiedene Anfangsgeschwindigkeiten je dreimal durchzuführen. Bei Bahn I sollte die Auslenkung (Dehnung des Gummibandes der Startvorrichtung) so definiert erfolgen (z.B. durch Positionierung der Gleiter-Hinterkante an der Wegskala), dass sich die Geschwindigkeiten innerhalb einer Messreihe um weniger als 10 % unterscheiden. Nach Berechnung der einzelnen Geschwindigkeiten können nach Wiegen von Gleiter (einschl. Flagge) die kinetischen Energien berechnet werden.

Aus den Messwerten jeder Messung sind die kinetischen Energien E u. E‘ des Gleiters unmittelbar vor und nach dem Stoß und daraus der Energieverlust $\Delta E_s = E - E'$ beim Stoß zu berechnen, ebenso die kinetische Energie E_a beim Start und E_e beim Ende der Messung. Hieraus ist der Energieverlust $\Delta E_b = E_a - E_e - \Delta E_s$ des Gleiters auf der Bahn zu bestimmen. Stellen Sie diese Energieverluste sowie die Relativverluste $\Delta_V = \Delta E_s/E$ bzw. $\Delta E_b/E$ in einer Tabelle zusammen. Diskutieren Sie das Ergebnis anhand der jeweils aus einer Messreihe bestimmten Mittelwerte.

4.2 Beschleunigter Gleiter

Abb.3 zeigt den Versuchsaufbau zu gleichmäßigen Beschleunigung des Gleiters auf der Bahn I. Der Gleiter mit Masse m_1 wird durch ein Zugband (Magnetband geringer Masse) mit einem Gewichtsstück der Masse m_2 = 20 g verbunden. Das Band ist so am Gleiter einzuhängen, dass es parallel zur Oberfläche der Bahn oberhalb des Strahlwegs der Lichtschranken verläuft. Am Ende der Bahn wird es über den Umlenker gelegt, in dem sich wie auf der Bahnoberfläche Luftlöcher

befinden. Die Stärke der Luftströmung lässt sich durch eine Stellschraube so regulieren, dass das Band auf einem Luftpolster liegt.

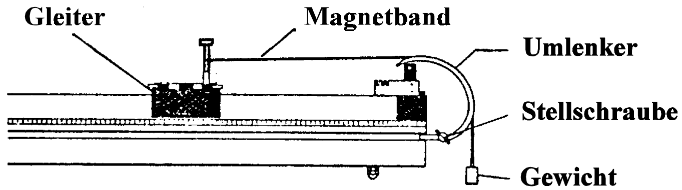

Abb.3: Versuchsaufbau zur gleichmäßigen Beschleunigung des Gleiters I mittels eines Gewichts

Die Weg-Zeit-Messung wir wie folgt durchgeführt: Am Bahnanfang wird der Gleiter I vor dem Start durch einen Elektromagneten festgehalten. Dessen Versorgungsspannung (Synchronausgang) wird an die Startbuchsen des Zeitmessers angeschlossen (Schalter 7 in Pos. 1). Der Gleiter und die Zeitmessung werden durch Abschalten des Elektromagneten gestartet. Die paarweise am Eingang 1 u. 3 angeschlossenen Lichtschranken zum Stoppen der Zeitmessung werden an insgesamt 6 verschiedenen Wegmarken, z.B. s_i = 20, 30, 40, 60, 70 u. 80 cm vom Start (Vorderkante Fahne) entfernt montiert. Jede Zeitmessung t_i wird zweimal durchgeführt und daraus der Mittelwert berechnet.

Die Weg-Zeit-Messung auf Behn II geschieht ähnlich. Die Beschleunigung des Gleiters bewirkt ein Gewicht der Masse m_2 = 10 g, das mittels eines über eine Umlenkrolle geführten Bindfadens mit dem Gleiter verbunden ist. Die beim elastischen Stoß benutzte Startvorrichtung wird umgedreht montiert und vor dem Start jeweils in die Spannungsstufe 2 (mittlere Spannung) gebracht. In dieser Stellung wird der Gleiter an der Vorrichtung magnetisch gehalten. Das Auslösen des Starters bewirkt das Freigeben der Magnethalterung ohne Impulsübertragung auf den Gleiter. Vor dem Start sind die Startbuchsen (3) des Zeitmessers über den Starter kurzgeschlossen. Das Öffnen des Stromkreises beim Start startet zugleich die Zeitmessung. Die Lichtschranken werden wie zuvor beschrieben montiert und angeschlossen, die Messungen analog durchgeführt.

Für die Berechnung der Beschleunigung sind die Massen von Gleiter und

Gewichtsstück zu bestimmen. Die Masse des Zugbandes bzw. Bindfadens wird vernachlässigt. Für jede Messreihe sind folgende Auswertungen vorzunehmen: Die Messwerte s_i, t_i sind in ein geeignetes Weg-Zeit-Diagramm einzutragen, so dass aus der Steigung einer Ausgleichsgeraden die Beschleunigung a ermittelt werden kann. Leiten Sie die für das System geltende Kraftgleichung aus dem d'Alembertschen Prinzip her und bestimmen Sie den theoretischen Wert der Beschleunigung a. Vergleichen Sie diesen Wert mit dem experimentellen Ergebnis. Berechnen Sie aus den Messergebnissen x_i und t_i die kinetische Energie von Gleiter und Gewicht $E_{kin}(t_i)$ für die verschiedenen Messzeiten t_i und vergleichen Sie diese mit der Abnahme der potentiellen Energie des Gewichts $E_{pot}(x_i)$. Verifizieren Sie mit diesen Werten den Energieerhaltungssatz der Mechanik.

4.3 Gleiter auf schiefer Ebene

Die Bewegung des Gleiters auf der der schiefen Ebene ist gleichförmig beschleunigt wie im Versuchsteil 4.2. Ziel dieses Versuchsteils ist es, die Erdbeschleunigung g aus der Beschleunigung a des Gleiters auf der geneigten Bahn mit wie zuvor durchgeführten Weg-Zeit-Messungen s_i, t_i für zwei verschiedene Neigungswinkel θ der Bahn zu bestimmen. DieFahrbahn wird in eine Schräglage versetzt, indem man einen oder zwei Holzklötze (jeder mit Höhe h_i = 3cm) unter den Fuß der Fahrbahn auf der Startseite legt. Der Winkel θ der so entstandenen schiefen Ebene ergibt sich aus der Beziehung:

$$\sin\theta = \frac{h}{l}$$

wobei h die Gesamthöhe der Holzklötze und l der Abstand zwischen Quer- und Einzelfuss der Fahrbahn ist (Bahn I: l = 150 cm, Bahn II: l = 143,5 cm).

Die Messungen sind wie zuvor für die genannten Messstrecken s_i je zweimal durchzuführen und die Ergebnisse entsprechend aufzutragen. Bestimmen Sie aus den Ausgleichsgeraden die Beschleunigungen a und daraus die Erdbeschleunigung g. Vergleichen Sie das Ergebnis mit dem Tabellenwert für g und diskutieren Sie mögliche Fehlerquellen.

5. Fragen und Aufgaben zur Selbstkontrolle

1) Nennen Sie die geradlinigen Bewegungsarten und die zugehörigen Bewegungsgesetze. Vergleichen Sie diese z.B. mit denen der Kreisbewegung.

2) Wie lauten die *Newtonschen Axiome*?

3) Welche Energieformen treten in den Versuchen auf und welche Gesetze gelten für sie?

4) Erläutern Sie den Zusammenhang zwischen *Kraftstoß* und *Impuls*.

5) Formulieren Sie den *Impuls*- und *Energieerhaltungssatz*.

6) Stellen Sie die Energie- und Impulsgleichungen für den elastischen und unelatistischen zentralen Stoß der Masse m_1 und Geschwindigkeit v_1 mit der Masse m_2 und Geschwindigkeit $v_2 = 0$ auf und bestimmen Sie die Geschwindigkeiten v_1 und v_2 als Funktion des Massenverhältnisses m_1/m_2.

7) Erläutern sie das *d'Alembertsche Prinzip*.

8) Welche Kräfte wirken auf einen Körper ein, der reibungsfrei auf einer schiefen Ebene gelagert ist? Welche Komponenten bewirken eine Beschleunigung des Körpers?