

Bestätigung des ersten und zweiten Newtonschen Axioms an geradlinigen Bewegungen

Aufzeichnung und Auswertung mit VideoCom

Versuchsziele

- Aufzeichnung der Weg-Zeit-Diagramme eindimensionaler Bewegungen auf einer Luftkissenfahrbahn mit VideoCom.
- Untersuchung gleichförmiger Bewegungen und Bestätigung des ersten Newtonschen Axioms.
- Untersuchung gleichmäßig beschleunigter Bewegungen und Bestätigung des zweiten Newtonschen Axioms.

Grundlagen

Geradlinige Bewegungen eines Massenpunktes:

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 Zeiten Δt gleiche Strecken Δs zurück. Seine Geschwindigkeit

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

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, ändert sich die Geschwindigkeit im Laufe der Zeit und Gl. (I) gibt die mittlere Geschwindigkeit im Zeitintervall Δt an. Zur Bestimmung der momentanen Geschwindigkeit zu einem Zeitpunkt t , muss das Zeitintervall Δt so klein wie möglich gewählt werden. Daher

bezeichnet man als Geschwindigkeit genauer den Grenzwert für immer kleinere Zeitintervalle:

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

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

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

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

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

oder für konstante Massen m

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

Gl (V) ist in der Form

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

als Newtonsche Bewegungsgleichung bekannt. Die Größe

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

ist die Beschleunigung des Massenpunktes. Sie ist für eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung konstant. Andernfalls bezeichnet man als Beschleunigung zum Zeitpunkt t genauer den Grenzwert

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

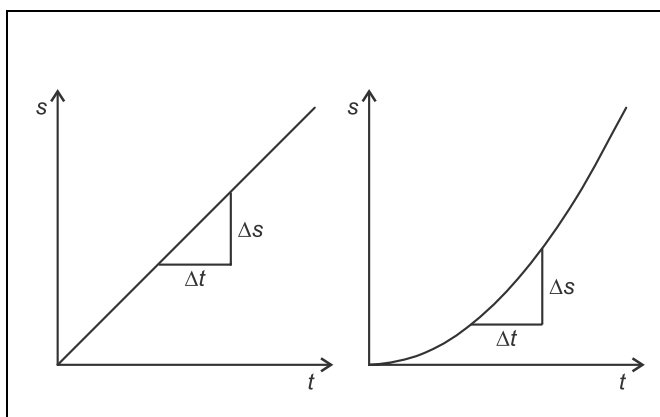


Fig. 1 Weg-Zeit-Diagramm der gleichförmigen (links) und der gleichmäßig beschleunigten (rechts) Bewegung

Geräte

1 Luftkissenfahrbahn	337 501
1 Luftversorgung	337 53
1 Leistungsstellgerät	337 531
1 VideoCom	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

zusätzlich erforderlich:

1 PC mit Windows 95 / 98 / NT

- Haltemagnet mit Klemmreiter (c) nahe der Luftzufuhr und Bremse (g) am anderen Ende der Fahrbahn aufstecken.
- Luftzufuhr einschalten, Gleiter aufsetzen und Luftkissenfahrbahn mit Stellschrauben nachjustieren, bis der Gleiter an verschiedenen Stellen der Luftkissenfahrbahn ruht; dabei auch den Luftstrom variieren, bis die optimalen Parameter gefunden sind.

Aufbau von VideoCom:

- VideoCom auf Kamerastativ schrauben, in ca. 2 m Abstand zur Luftkissenfahrbahn aufstellen und möglichst auf gleiche Höhe sowie parallel zur Fahrbahnschiene ausrichten.
- VideoCom über Steckernetzgerät mit Spannung versorgen und mit seriellen Eingang des PC (z. B. COM1) verbinden.
- Haltemagnet über zwei Experimentierkabel an VideoCom anschließen (siehe Gebrauchsanweisung zu VideoCom).
- Software zu VideoCom ggf. unter Windows 95/98/NT installieren, Programm „VideoCom Bewegungen“ aufrufen und evtl. gewünschte Sprache sowie serielle Schnittstelle wählen (siehe Gebrauchsanweisung zu VideoCom).

Aufzeichnung der Bewegungen mit VideoCom:

Im Versuch werden gleichförmige und gleichmäßig beschleunigte Bewegungen eines Gleiters auf einer Luftkissenfahrbahn mit der einzeiligen CCD-Kamera VideoCom aufgenommen. Sie beleuchtet eine auf den Gleiter geklebte retroreflektierende Folie mit LED-Blitzen und bildet die reflektierten Blitze mit einem Kameraobjektiv auf eine CCD-Zeile mit 2048 Pixeln ab (CCD: charge-coupled device). Über eine serielle Schnittstelle wird die aktuelle Position des Gleiters bis zu 80 mal pro Sekunde an einen Computer übertragen.

Ein zu VideoCom gehörendes Computerprogramm stellt die gesamte Bewegung des Gleiters als Weg-Zeit-Diagramm dar und ermöglicht die weitere Auswertung der Messdaten. Mit einem Mausklick kann insbesondere die Berechnung der Geschwindigkeit

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

und der Beschleunigung

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

aktiviert werden. Dabei ist die Wahl zwischen verschiedenen Zeitintervallen Δt möglich.

Ausrichtung von VideoCom:

- Zwei Gleiter mit Unterbrecherfahnen (d) ausrüsten und diese mit retroreflektierender Folie bekleben.
- Ersten Gleiter an den Haltemagneten schieben und zweiten Gleiter bei abgeschalteter Luftzufuhr mit genau 1 m Abstand zwischen den Unterbrecherfahnen auf die Luftkissenfahrbahn setzen.
- Im Programm „VideoCom Bewegungen“ den „Intensitätstest“ anklicken.
- Zur Verringerung des Untergrundes den Raum leicht abdunkeln.
- VideoCom so ausrichten, dass im LC-Display auf dem Kameragehäuse bzw. auf dem Bildschirm zwei Spitzen zu erkennen sind.
- Störendes Licht bzw. Reflexionen beseitigen, so dass keine weiteren Spitzen zu sehen sind.
- Ausrichtung weiter verbessern, bis das Intensitätsverhältnis von Spitze zu Untergrund für beide Gleiter größer als 5 zu 1 beträgt.

Aufbau

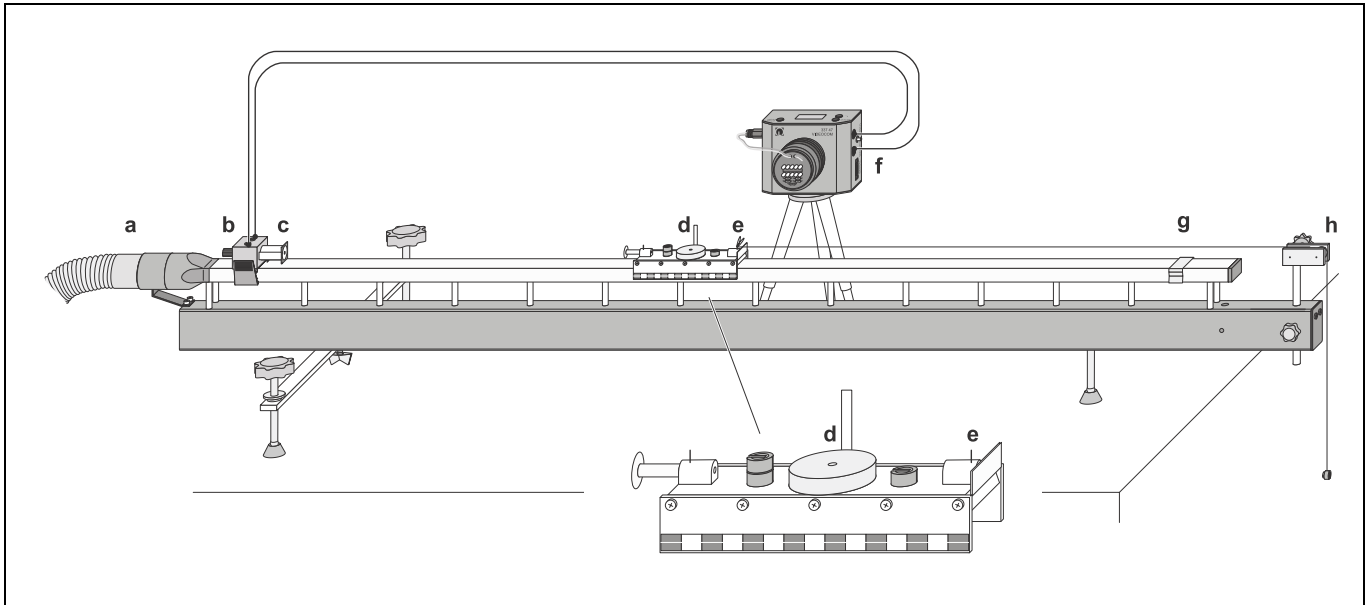
Der Versuchsaufbau ist in Fig. 2 dargestellt.

Aufbau der Luftkissenfahrbahn:

- Fahrbahnschiene mit Träger auf Fahrbahngestell montieren, aufstellen und an Stellschrauben horizontal ausrichten (siehe Gebrauchsanweisung zur Luftkissenfahrbahn); zur Kontrolle Wasserwaage verwenden.
- Adapter für Luftversorgung (a) in Lufteinlass stecken.
- Luftversorgung mit Leistungsstellgerät verbinden; Schlauch an Adapter für Luftversorgung anschließen (siehe Gebrauchsanweisung zur Luftkissenfahrbahn).
- Umlenkrolle mit kleinem Trägheitsmoment (h) auf Stativstange 10 cm am Ende der Luftkissenfahrbahn montieren.

Anschluss des Haltemagneten:

- Zweiten Gleiter entfernen.
- 1,20 m langen Perlonfaden an Fadenhalter (e) des ersten Gleiters befestigen, über Umlenkrolle führen und 1-g-Masse anhängen.
- Luftzufuhr einschalten und optimalen Luftstrom einstellen.
- Gleiter mit Halteplatte ausrüsten und an den Haltemagneten schieben.
- Mit Stellknopf (f) am VideoCom-Gehäuse max. Versorgungsspannung für Haltemagneten einstellen.
- Eisenkern des Haltemagneten mit Rändelschraube (b) so einstellen, dass der Gleiter gerade noch gehalten wird und nach Drücken der Taste Start am VideoCom-Gehäuse sofort losfährt.



Korrektur der Verzeichnung:

- Im Programm „VideoCom Bewegungen“ auf Darstellung „Weg“ umschalten.
- Gleiter mit beiden Unterbrecherfahnen ausrüsten (Abstand = 5 cm).
- Mit dem Button oder der Taste F5 das Menü „Einstellungen/Wegkalibrierung“ aufrufen.
- Im Register „Wegkalibrierung“ als Positionen der beiden Unterbrecherfahnen die Werte 0 m bzw. 0,05 m eintragen.
- Schaltfläche „Pixel aus Anzeige ablesen“ anklicken und „Kalibrierung verwenden“ aktivieren.
- Erneut das Menü „Einstellungen/Wegkalibrierung“ aufrufen und im Register „Messvorgaben“ folgende Einstellungen vornehmen.

Δt	100 ms (10 fps)
Blitz	Auto
Glättung	Standart (4*dt)
Stopp der Messung	bei Erreichen des Wegs
s	z. B. 0,9 m

- 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 $\alpha \neq 0^\circ$ angegeben wird, steht die Luftkissenfahrbahn noch nicht im richtigen Winkel zum VideoCom (siehe Fig. 3):

Fig. 3 Schema zur Definition des Winkels α zwischen der Luftkissenfahrbahn und VideoCom.

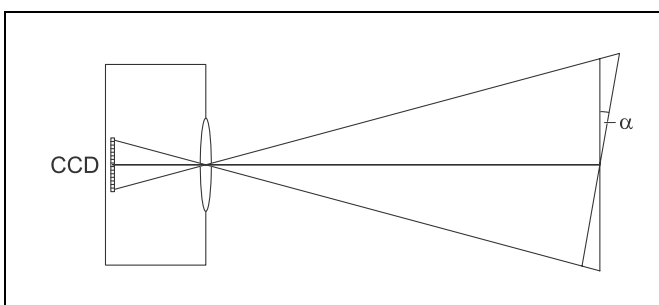


Fig. 2 Versuchsaufbau zur Bewegungsaufnahme mit VideoCom (hier dargestellt: gleichmäßig Beschleunigung mit der beschleunigten Masse $m = 100 \text{ g}$).

- Linearisierung mit Schaltfläche „Abbrechen“ verwerfen.
- Position der Luftkissenfahrbahn durch Verschieben des „rechten Fußes“ korrigieren.
- Mit dem Button oder Taste F4 alte Messwerte löschen, Bewegung des Gleiters erneut aufzeichnen und Winkel α erneut ermitteln.
- Vorgang so lange wiederholen, bis $\alpha = 0^\circ$ angezeigt wird; dann „Linearisierung verwenden“ aktivieren und angegebene Verzeichnung δ übernehmen.

Wegkalibrierung:

- Wieder beide Gleiter mit Unterbrecherfahnen ausrüsten, ersten Gleiter an den Haltemagneten schieben und zweiten Gleiter bei abgeschalteter Luftzufuhr in genau 1 m Abstand zwischen den Unterbrecherfahnen auf die Luftkissenfahrbahn setzen.
- Im Register „Wegkalibrierung“ des Menüs „Einstellungen/Wegkalibrierung“ als Positionen der beiden Gleiter die Werte 0 m bzw. 1 m eintragen.
- Schaltfläche „Pixel aus Anzeige ablesen“ anklicken und „Kalibrierung verwenden“ aktivieren.

Durchführung

a) Gleichförmige Bewegung:

- Alte Messwerte mit oder F4 löschen.
- Perlonfaden vom Gleiter entfernen, Luftzufuhr einschalten und Gleiter in die Nähe des Haltemagneten schieben.
- Gleiter mit dem Finger leicht anstoßen, danach mit oder F9 Messung starten und Weg-Zeit-Diagramm aufzeichnen.
- Messwerte mit oder F2 unter einem aussagekräftigen Namen abspeichern.

b) Gleichmäßig beschleunigte Bewegung:

- Alte Messwerte löschen.
- Perlonfaden mit angehängter 1-g-Masse an Fadenhalter befestigen und über Umlenkrolle führen.
- Gleiter an Haltemagneten schieben.
- Messung starten, Weg-Zeit-Diagramm aufzeichnen und Messwerte abspeichern.

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

Hinweis: Die beschleunigte Masse setzt sich zusammen aus der Gesamtmasse des Gleiters und der gesamten am Perlonfaden hängenden Masse.

- Alte Messwerte löschen.
- Gleiter zusätzlich z. B. mit der Prallplatte ausrüsten und drei 1-g-Massen auf den Gleiter stecken, so dass die Gesamtmasse m von Gleiter und einer 1-g-Masse am Perlonfaden 100 g beträgt (siehe Gebrauchsanweisung zur Luftkissenfahrbahn).
- Gleiter an Haltemagneten schieben, Messung starten und Weg-Zeit-Diagramm aufzeichnen.
- Eine 1-g-Masse vom Gleiter nehmen und zusätzlich an Perlonfaden hängen.
- Gleiter an Haltemagneten schieben, Messung starten und neue Messwerte zusätzlich aufzeichnen.
- Weitere und anschließend letzte 1-g-Masse vom Gleiter nehmen, jeweils zusätzlich an Perlonfaden hängen und neue Messwerte zusätzlich aufzeichnen.
- Messwerte unter einem neuen Namen abspeichern.

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

- Alte Messwerte löschen.
- Insgesamt zwei 1-g-Massen an Perlonfaden hängen und zwei 1-g-Massen auf den Gleiter stecken und Weg-Zeit-Diagramm aufzeichnen.
- Zusätzliche 100-g-Masse auf den Gleiter legen und neue Messwerte zusätzlich aufzeichnen.
- Aufzeichnung für zweite und dritte zusätzliche 100-g-Masse wiederholen.
- Messwerte unter einem neuen Namen abspeichern.

Messbeispiele und Auswertung**a) Gleichförmige Bewegung:**

Fig. 4 (Seite 5) zeigt das Weg-Zeit-Diagramm des Gleiters bei einer gleichförmigen Bewegung ohne äußere Kraft. Der zurückgelegte Weg s ist eine lineare Funktion der Zeit t , wie die Anpassung einer Geraden an die Messwerte bestätigt.

Aus den Messwerten berechnet man durch Anklicken des Registers „Geschwindigkeit“ die Momentangeschwindigkeit v als Funktion der Zeit. Diese Geschwindigkeit ist annähernd konstant (siehe Fig. 5), wie nach dem Trägheitsprinzip zu erwarten war.

Hinweis: Die Geschwindigkeit nimmt mit der Zeit ab, da der Gleiter durch Reibung etwas abgebremst wird. Daher beobachtet man auch im Weg-Zeit-Diagramm kleine Abweichungen vom linearen Verhalten.

b) Gleichmäßig beschleunigte Bewegung:

Fig. 6 zeigt das Weg-Zeit-Diagramm des Gleiters bei Beschleunigung mit einer konstanten Kraft F . Der zurückgelegte Weg s ist hier keine lineare Funktion der Zeit t , wie die Anpassung einer Parabel an die Messwerte bestätigt.

Die aus den Messwerten berechnete Momentangeschwindigkeit v ist eine lineare Funktion der Zeit (siehe Fig. 7). Berechnet man durch Anklicken des Registers „Beschleunigung“ die Momentanbeschleunigung a als Funktion der Zeit, so erhält man annähernd konstante Werte (siehe Fig. 8).

Hinweis: Die Beschleunigung nimmt mit der Zeit ab, da die Reibung mit wachsender Geschwindigkeit zunimmt. Daher beobachtet man auch im Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm kleine Abweichungen vom linearen Verhalten.

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

Die beschleunigte Bewegung des Gleiters bei konstanter Masse m und verschiedenen beschleunigenden Kräften F ist in Fig. 9 (Seite 6) dargestellt. Fig. 10 zeigt die aus den Messwerten berechnete Beschleunigung als Funktion der Zeit.

Zur weiteren Auswertung:

- Register „Newton“ im Menü „Einstellungen/Wegkalibrierung“ anklicken und als veränderlichen Parameter durch Anklicken „beschleunigende Kraft F (m konstant)“ wählen.
- im Beschleunigungs-Zeit-Diagramm die Mittelwerte der Beschleunigungen a bestimmen und jeweils mit der Maus von der Statuszeile des Programmfensters (unterer Rand) in die erste Spalte der Wertetabelle des Registers „Newton“ ziehen.
- In die zweite Spalte die Kräfte F als Parameter eintragen.

Ergebnis ist ein $F(a)$ -Diagramm, in dem die Messwerte auf einer Ursprungsgeraden liegen (siehe Fig. 11). Damit ist Gl. (VIII) für konstante Masse m bestätigt. Die Steigung der Ursprungsgeraden beträgt

$$\frac{F}{a} = m = 0,1006 \text{ kg (erwarteter Wert: } m = 0,1 \text{ kg)}$$

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

Die beschleunigte Bewegung bei konstanter Kraft F und verschiedenen Massen m ist in Fig. 12 dargestellt. Fig. 13 zeigt die aus den Messwerten berechnete Beschleunigung.

Zur weiteren Auswertung:

- Im Register „Newton“ als veränderlichen Parameter „Masse m (Darstellung gegen $1/a$)“ wählen.
- Mittelwerte der Beschleunigungen a mit der Maus in die erste Spalte der Wertetabelle des Registers „Newton“ ziehen.
- In die zweite Spalte die Massen m eintragen.

Im resultierenden $m(1/a)$ -Diagramm liegen die Messwerte auf einer Ursprungsgeraden (siehe Fig. 14). Damit ist Gl. (VIII) für konstante Kraft F bestätigt. Die Steigung der Ursprungsgeraden beträgt

$$\frac{m}{\frac{1}{a}} = F = 0,0192 \text{ N (erwarteter Wert: } F = 0,0196 \text{ N)}$$

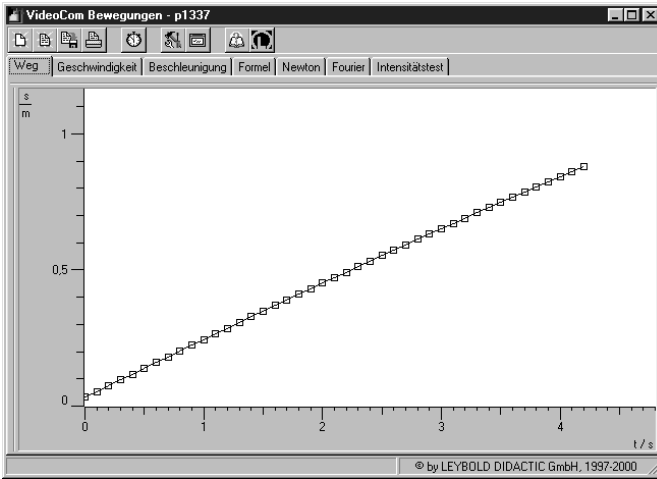


Fig. 4 Weg-Zeit-Diagramm einer gleichförmigen Bewegung des Gleiters, aufgezeichnet mit VideoCom.

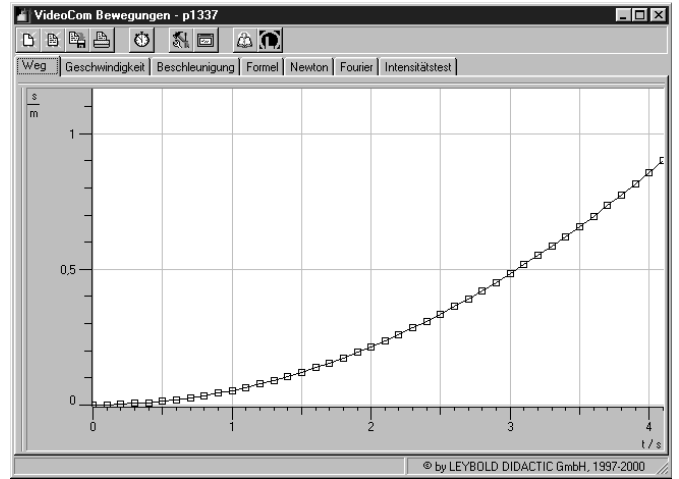


Fig. 6 Weg-Zeit-Diagramm einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung des Gleiters, aufgezeichnet mit VideoCom.

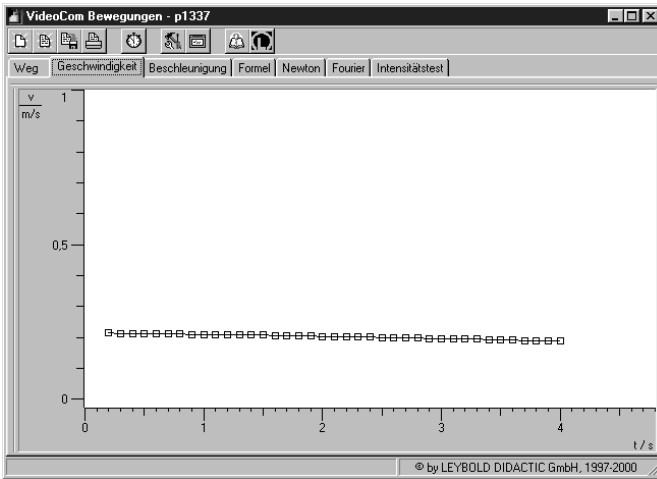


Fig. 5 Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm zu Fig. 4

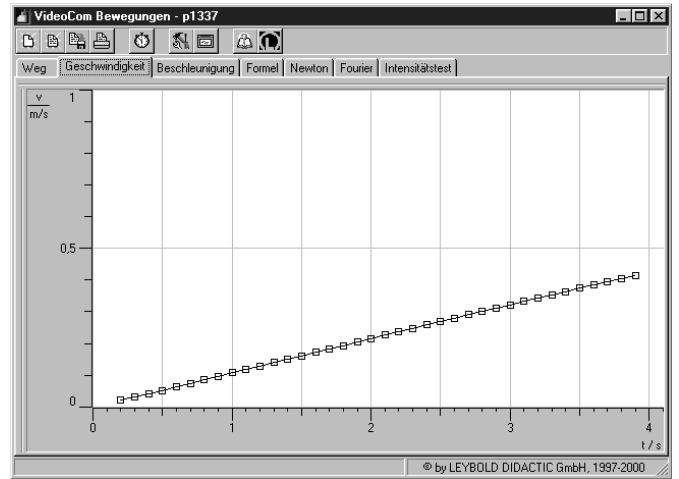


Fig. 7 Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm zu Fig. 6

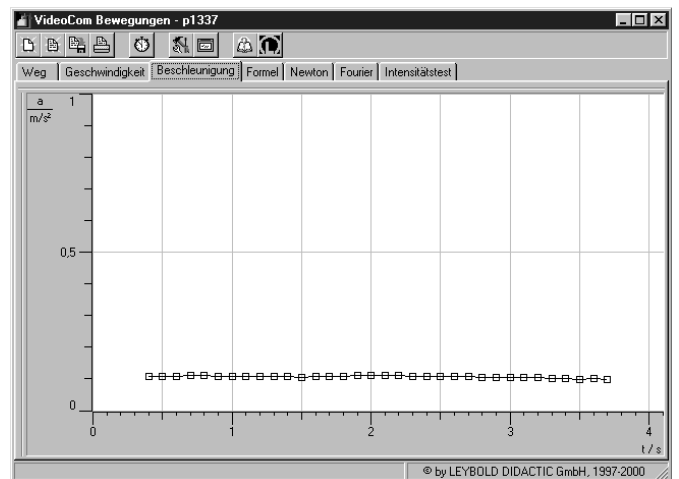


Fig. 8 Beschleunigungs-Zeit-Diagramm zu Fig. 6

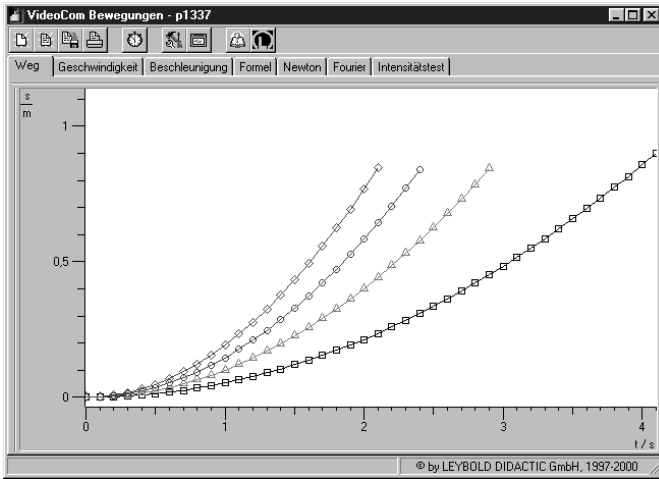


Fig. 9 Weg-Zeit-Diagramm der gleichmäßig beschleunigten Bewegung bei konstanter Masse $m = 100 \text{ g}$ ($F = 0,0098 \text{ N}$ (\square), $0,0196 \text{ N}$ (\triangle), $0,0294 \text{ N}$ (\circ), $0,0392 \text{ N}$ (\diamond)).

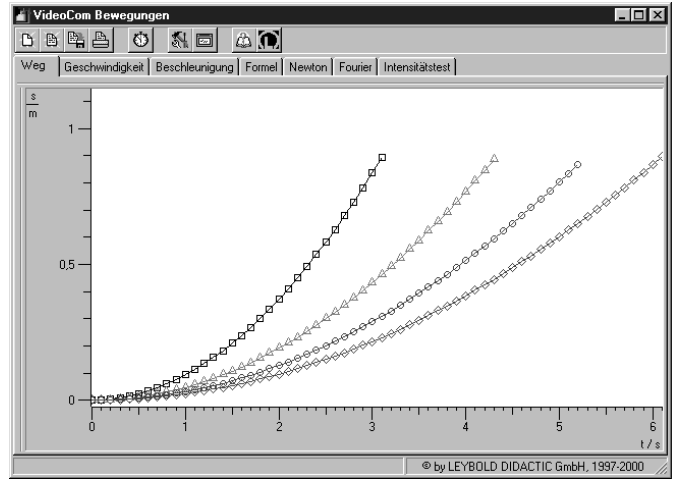


Fig. 12 Weg-Zeit-Diagramm der gleichmäßig beschleunigten Bewegung bei konstanter beschleunigender Kraft

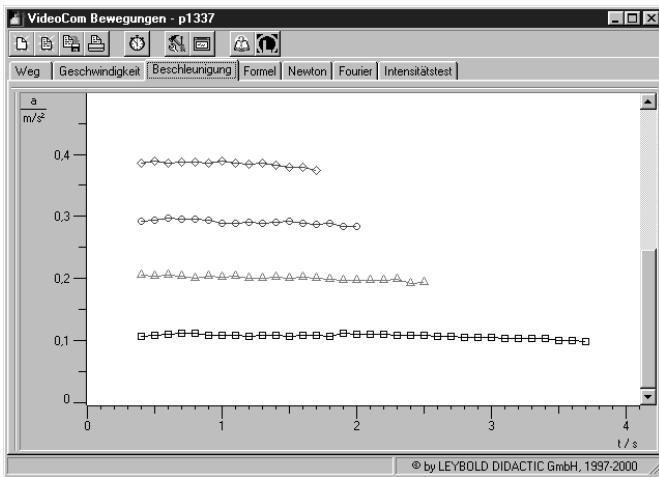


Fig. 10 Beschleunigungs-Zeit-Diagramm zu Fig. 9

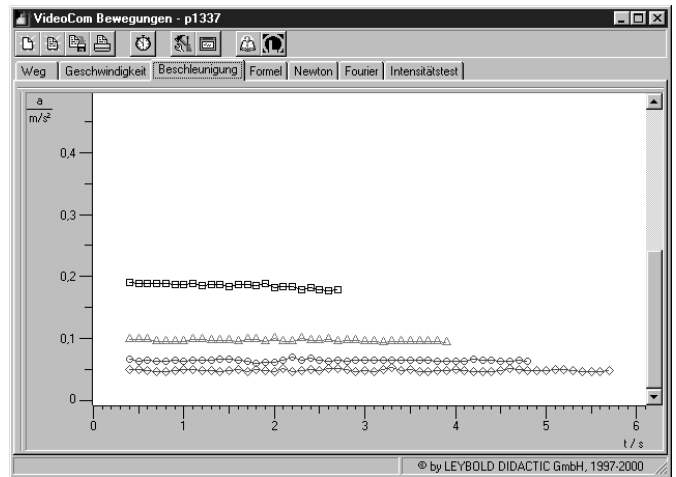


Fig. 13 Beschleunigungs-Zeit-Diagramm zu Fig. 12

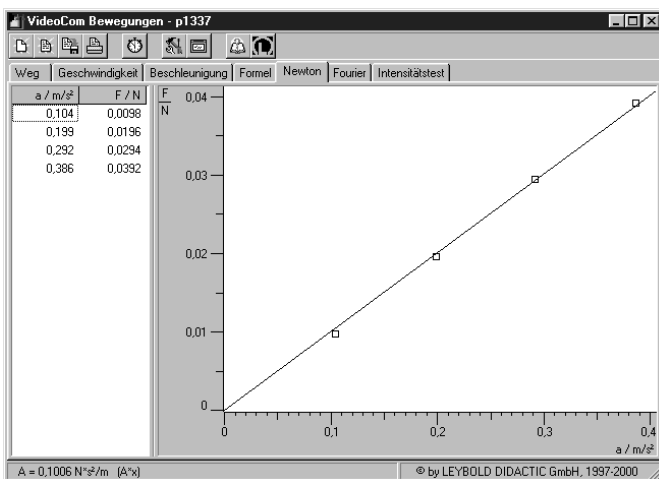


Fig. 11 $F(a)$ -Diagramm und Wertetabelle für konstante beschleunigte Masse $m = 100 \text{ g}$.

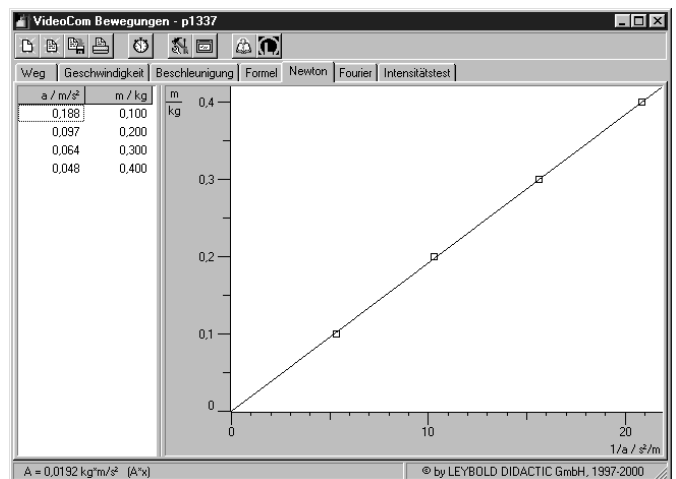


Fig. 14 $m(1/a)$ -Diagramm und Wertetabelle für konstante beschleunigende Kraft $F = 0,0196 \text{ N}$.