

Aufnahme der Weg-Zeit-Diagramme geradliniger Bewegungen

Aufzeichnung und Auswertung mit VideoCom

Versuchsziele

- Aufzeichnung und Auswertung gleichförmiger Bewegungen auf einer Rollenfahrbahn mit VideoCom.
- Aufzeichnung und Auswertung gleichmäßig beschleunigter Bewegungen auf einer Rollenfahrbahn mit VideoCom.

Grundlagen

Bei einer gleichförmigen Bewegung legt ein 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:

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

Die Größe

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

ist die Beschleunigung des Massenpunktes. Sie ist für eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung konstant. Andernfalls

bezeichnet man als Beschleunigung zum Zeitpunkt t genauer den Grenzwert

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

Im Versuch werden gleichförmige und gleichmäßig beschleunigte Bewegungen eines Fahrbahnwagens mit der einzeiligen CCD-Kamera VideoCom aufgenommen (CCD: charge-coupled device). Sie beleuchtet den mit einer retroreflektierenden Folie beklebten Fahrbahnwagen mit LED-Blitzen und bildet die reflektierten Blitze mit einem Kameraobjektiv auf eine CCD-Zeile mit 2048 Pixeln ab. Über eine serielle Schnittstelle wird die aktuelle Position des Fahrbahnwagens bis zu 80 mal pro Sekunde an einen Computer übertragen. Die automatisch eingestellte Blitzdauer beträgt maximal 1/800 s, so dass auch eine „schnelle“ Bewegung auf der Fahrbahn scharf abgebildet wird.

Das zu VideoCom gehörende Computerprogramm stellt die gesamte Bewegung des Fahrbahnwagens als Weg-Zeit-Diagramm dar und ermöglicht die weitere Auswertung der Messdaten. Mit einem Mausclick kann insbesondere die Berechnung der Geschwindigkeit

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

und der Beschleunigung

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

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

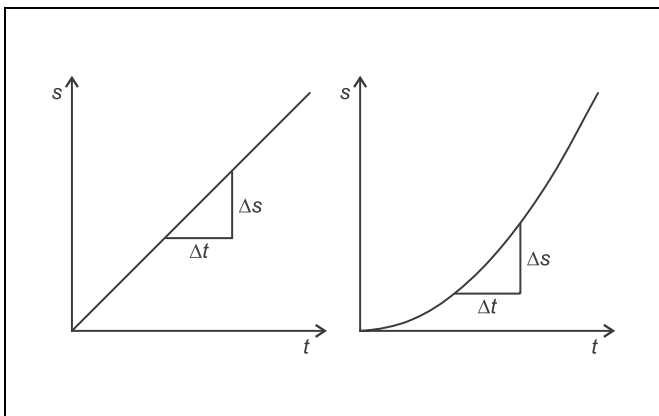


Fig. 1 Weg-Zeit-Diagramm der gleichförmigen (links) und der gleichmäßig beschleunigten (rechts) Bewegung

Geräte	
1 Fahrbahn	337 130
1 Fahrbahnwagen	337 110
1 VideoCom	337 47
1 Steckernetzgerät 230 V/12 V~/20 W . . .	562 791
1 Kamerastativ	300 59
1 Haltemagnet	683 41
1 Halter für Kombi-Speichenrad	337 463
1 Kombi-Speichenrad	337 464
1 Teller für Schlitzgewichte, 10 g	315 410
4 Schlitzgewichte, 10 g	315 418
1 Angelschnur, 10 m	309 48
Experimentierkabel	
<i>zusätzlich empfohlen:</i>	
1 Paar Zusatzmassen	337 114
<i>zusätzlich erforderlich:</i>	
1 PC mit Windows 95/NT oder höher	

Aufbau

Der Versuchsaufbau ist in Fig. 2 dargestellt.

Aufbau der Fahrbahn:

- Haltemagnet (a) mit Klemmreiter aufsetzen, dazu ggf. Gummistreifen entfernen.
- Kombi-Speichenrad in Halter für Kombi-Speichenrad (d) am Fahrbahnende befestigen.
- Fahrbahn an Stellschrauben (f) horizontal ausrichten.
- Fahrbahnwagen aufsetzen und horizontale Ausrichtung der Fahrbahn überprüfen.

Aufbau von VideoCom:

- VideoCom auf Kamerastativ schrauben, in ca. 2 m Abstand zur Fahrbahn 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.
- Ggf. Software zu VideoCom unter Windows installieren, Programm „VideoCom Bewegungen“ aufrufen und evtl. gewünschte Sprache sowie serielle Schnittstelle wählen (siehe Gebrauchsanweisung zu VideoCom).

Ausrichtung von VideoCom:


- Fahrbahnwagen mit Halteplatte (b₁) ausrüsten und an Haltemagnet schieben.
- Eine Kante des Fahrbahnwagens vertikal mit retroreflektierender Folie (b₃) bekleben.
- Endpuffer (c) ebenfalls mit retroreflektierender Folie (c₃) bekleben und so festklemmen, dass der Abstand der beiden Folienstreifen genau 1 m beträgt.

- Im Programm „VideoCom Bewegungen“ den „Intensitätstest“ wählen.
- 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 Fahrbahnwagen größer als 5 zu 1 ist.


Anschluss des Haltemagneten:

- Angelschnur an Fadenhalter (b₂) des Fahrbahnwagens befestigen, über Kombi-Speichenrad als Umlenkrolle führen und Teller für Schlitzgewicht 10 g (e) anhängen.
- Eisenkern des Haltemagneten mit Rändelschraube so einstellen, dass der Fahrbahnwagen 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.
- Einen weiteren Streifen retroreflektierender Folie vertikal auf den Fahrbahnwagen kleben (Abstand zum ersten Streifen 5 cm).
- Mit dem Button  oder der Taste F5 das Menü „Einstellungen/ Wegkalibrierung“ aufrufen.
- Im Register „Wegkalibrierung“ als Positionen der beiden Folienstreifen die Werte 0 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	50 ms (20 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 Fahrbahnwagens 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 Fahrbahn noch nicht im richtigen Winkel zu VideoCom (siehe Fig. 3):

- Linearisierung mit Schaltfläche „Abbrechen“ verwerfen.
- Position der Fahrbahn durch Verschieben des „rechten Fußes“ korrigieren.
- Mit dem Button  oder Taste F4 alte Messwerte löschen, Bewegung des Fahrbahnwagens 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.

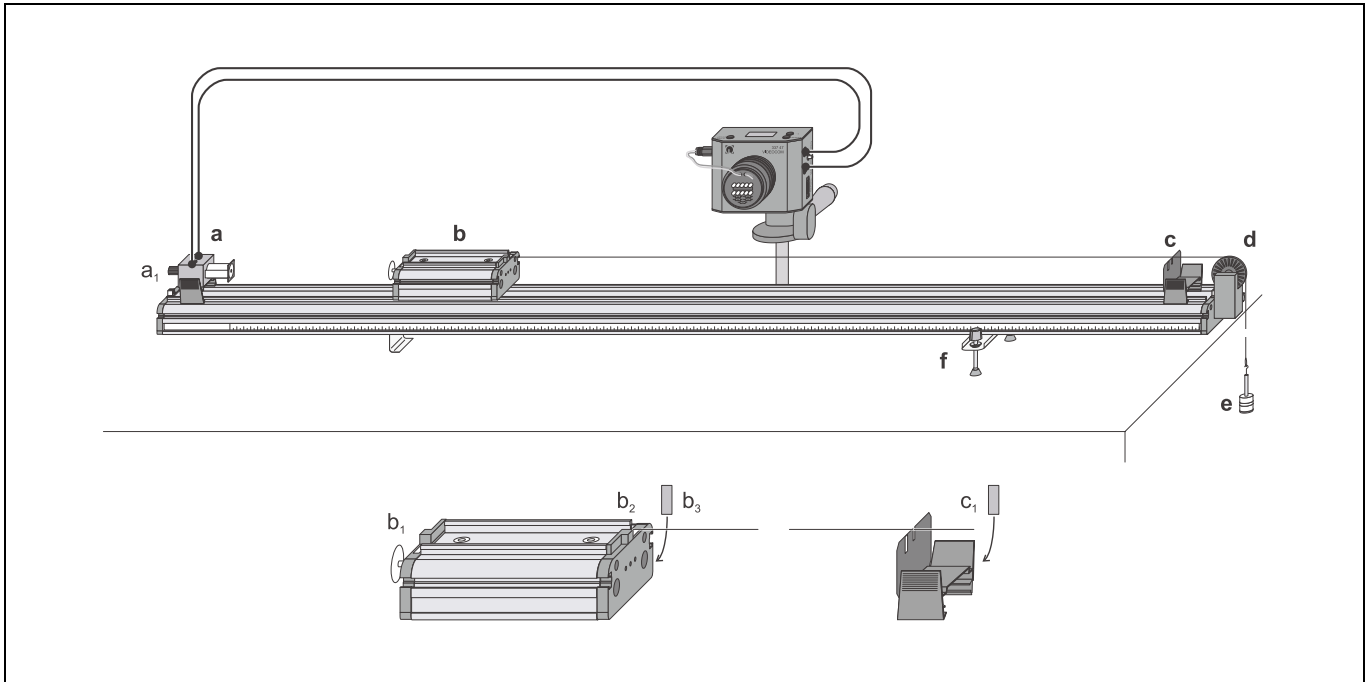
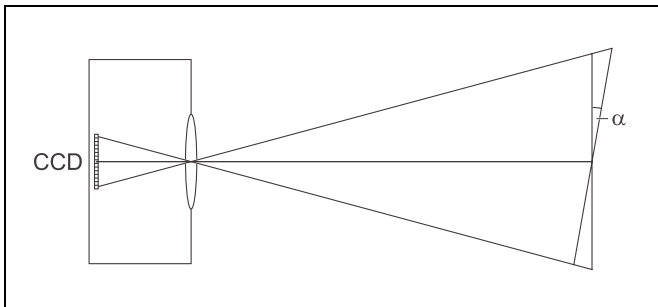


Fig. 2 Versuchsaufbau zur Bewegungsaufnahme mit VideoCom

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



Wegkalibrierung:

- Zweite retroreflektierender Folie vom Fahrbahnwagen entfernen, Fahrbahnwagen an den Haltemagneten schieben und Endpuffer in genau 1 m Abstand zwischen den retroreflektierenden Folien auf die Fahrbahn stecken.
- Im Register „Wegkalibrierung“ des Menüs „Einstellungen/Wegkalibrierung“ als Positionen der beiden Folien 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.
- Angelschnur vom Fahrbahnwagen entfernen und Fahrbahnwagen in die Nähe des Haltemagneten schieben.
- Fahrbahnwagen 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.
- Angelschnur mit angehängtem Teller für Schlitzgewichte 10 g erneut an Fadenhalter befestigen und über Umlenkrolle führen.
- Fahrbahnwagen an Haltemagneten schieben, Messung starten und Weg-Zeit-Diagramm aufzeichnen.
- Messwerte mit oder F2 unter einem aussagekräftigen Namen abspeichern.

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

- Alte Messwerte löschen und Schlitzgewichte 10 g entfernen.
- Angelschnur mit angehängtem Teller für Schlitzgewichte 10 g erneut an Fadenhalter befestigen und über Umlenkrolle führen.
- Fahrbahnwagen an Haltemagneten schieben, Messung starten und Weg-Zeit-Diagramm aufzeichnen.
- Nacheinander bis zu vier zusätzliche Schlitzgewichte 10 g einhängen und jeweils Weg-Zeit-Diagramm aufzeichnen.
- Messwerte mit oder F2 unter einem aussagekräftigen Namen abspeichern.

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

- Alte Messwerte löschen.
- Angelschnur mit angehängtem Teller für Schlitzgewichte 10 g und zwei zusätzlichen Schlitzgewichten 10 g erneut an Fadenhalter befestigen und über Umlenkrolle führen.
- Fahrbahnwagen an Haltemagneten schieben, Messung starten und Weg-Zeit-Diagramm aufzeichnen.
- Messung möglichst mit Zusatzmassen 500 g wiederholen.
- Messwerte mit oder F2 unter einem aussagekräftigen Namen abspeichern.

Messbeispiele und Auswertung

a) Gleichförmige Bewegung:

Fig. 4 zeigt das Weg-Zeit-Diagramm des Fahrbahnwagens 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), nimmt jedoch mit der Zeit etwas ab, da der Fahrbahnwagen durch Reibung abgebremst wird.

b) Gleichmäßig beschleunigte Bewegung:

Fig. 6 zeigt das Weg-Zeit-Diagramm des Fahrbahnwagens 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), und die Momentanbeschleunigung a ist annähernd konstant (siehe Fig. 8). Genauer betrachtet nimmt die Beschleunigung mit der Zeit etwas ab, da die Reibung mit wachsender Geschwindigkeit zunimmt.

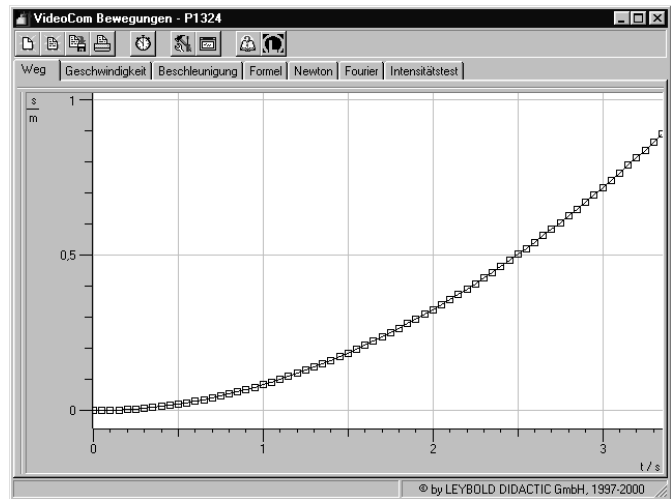


Fig. 6 Weg-Zeit-Diagramm einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung des Fahrbahnwagens, aufgezeichnet mit VideoCom.

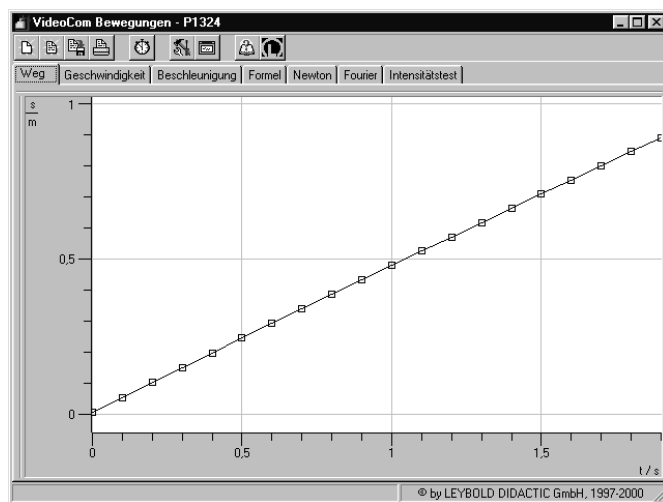


Fig. 4 Weg-Zeit-Diagramm einer gleichförmigen Bewegung des Fahrbahnwagens, aufgezeichnet mit VideoCom.

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

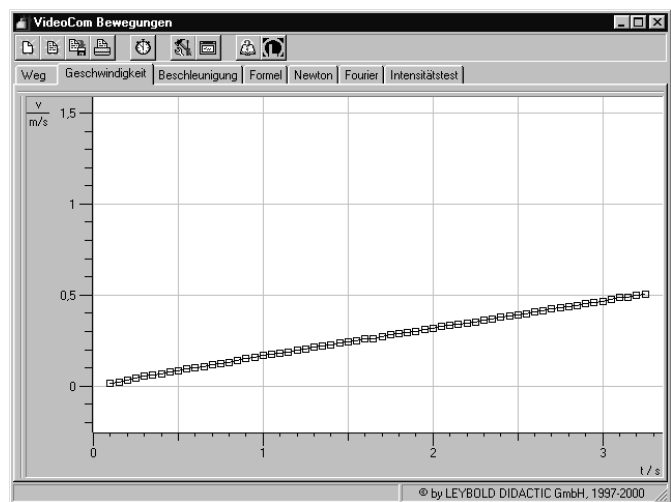
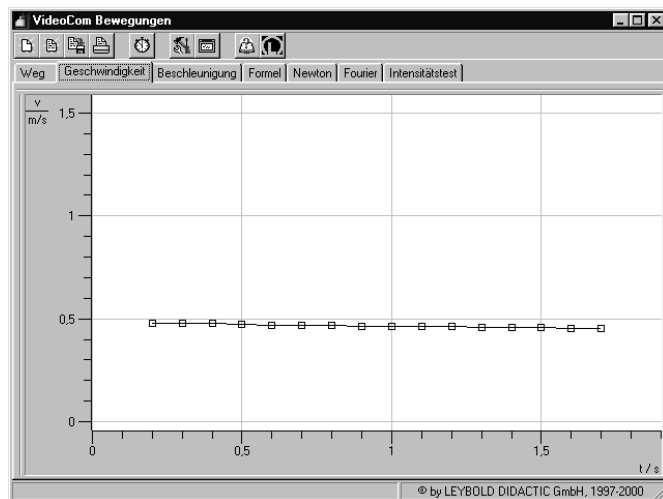
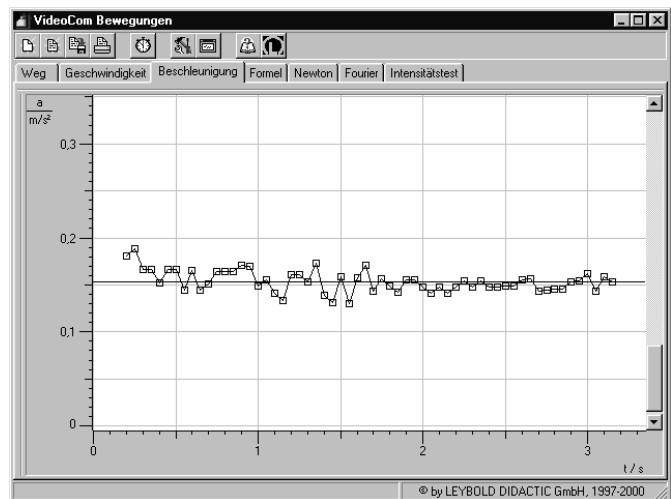


Fig. 7 Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm zu Fig. 6

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



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

Die beschleunigte Bewegung des Fahrbahnwagens bei verschiedenen beschleunigenden Kräften F ist in Fig. 9 dargestellt. Fig. 10 zeigt die aus den Messwerten berechnete Beschleunigung als Funktion der Zeit.

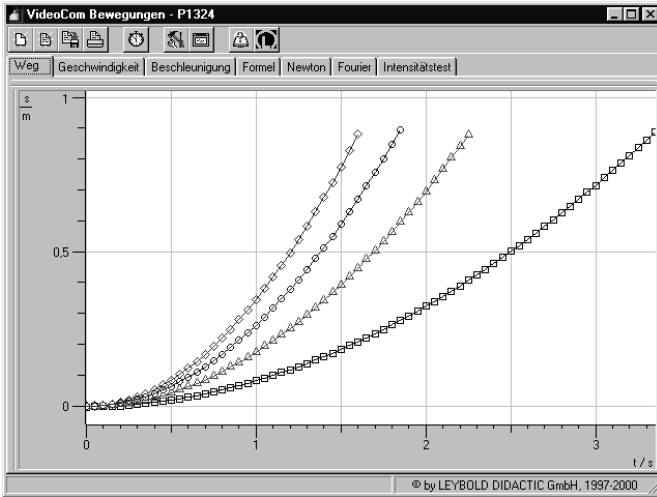
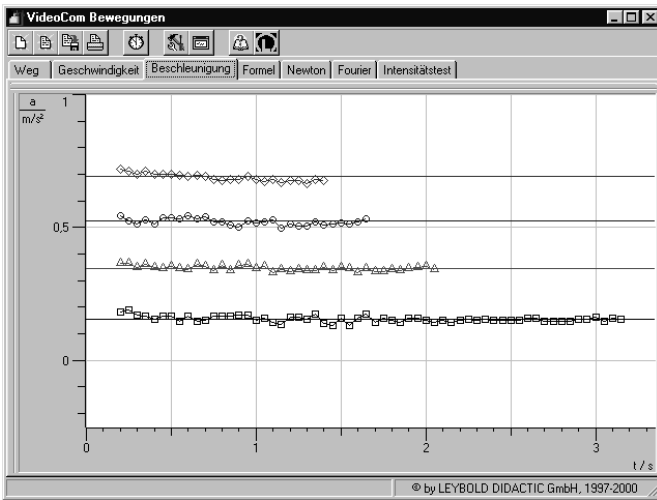


Fig. 9 Weg-Zeit-Diagramm der gleichmäßig beschleunigten Bewegung. ($F = 0,098 \text{ N}$ (□), $0,196 \text{ N}$ (△), $0,294 \text{ N}$ (○), $0,392 \text{ N}$ (◇)).

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



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

Die beschleunigte Bewegung bei konstanter Kraft F und verschiedenen Massen m ist in Fig. 11 dargestellt. Fig. 12 zeigt die aus den Messwerten berechnete Beschleunigung.

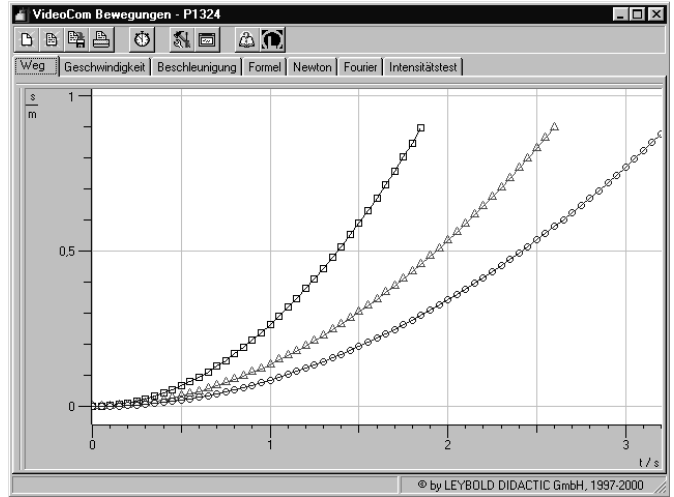


Fig. 11 Weg-Zeit-Diagramm der gleichmäßig beschleunigten Bewegung bei konstanter beschleunigender Kraft $F = 0,294 \text{ N}$ ($m = 530 \text{ g}$ (□), 1030 g (△), 1530 g (○)).

Fig. 12 Beschleunigung-Zeit-Diagramm zu Fig. 11

