



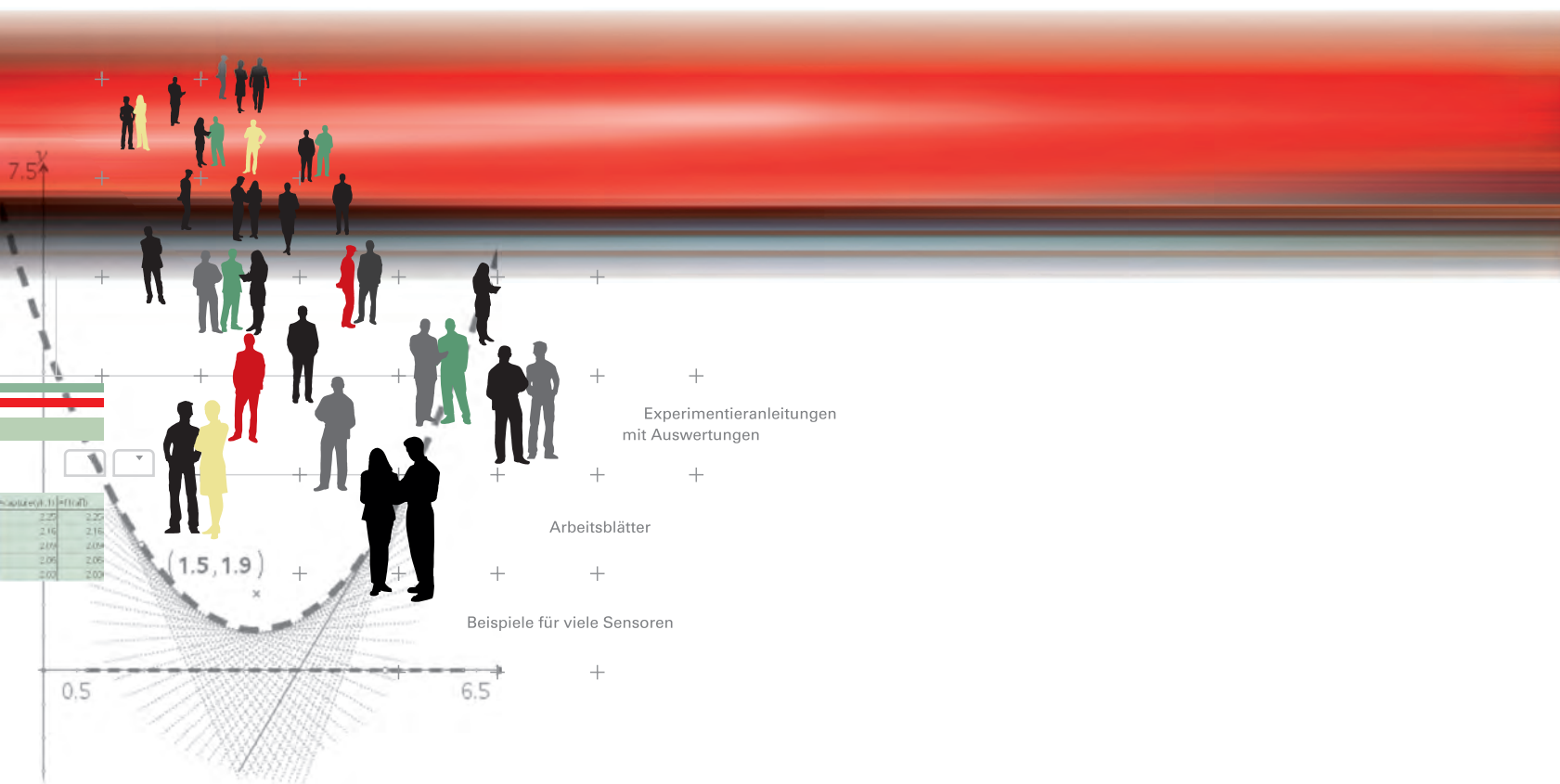
T³ DEUTSCHLAND
T³ ÖSTERREICH
T³ SCHWEIZ

T³-PHYSIK

Schülerexperimente im Physikunterricht mit digitaler Messwerterfassung

Die Top 13: Sicheres Gelingen - hoher Lernerfolg

Mirco Tewes, Jürgen Enders (Hrsg.)



Redaktion:

Mirco Tewes (Leitung), Jürgen Enders

Autoren:

Jörg Bussmann (Rheinland-Pfalz), René Cerajewski (Berlin), Stephan Christoph (Bayern),
Jürgen Enders (Niedersachsen), Volker Fachinger (Hessen), Dr. Karl-Heinz Keunecke (Schleswig-Holstein),
Peter Lorenz (Mecklenburg-Vorpommern), Irma Mgeladze (T³ Schweiz), Matthias Müller (Berlin),
Rolf Peiffer (Hessen), Roland Pflöging (Hessen), Michael Roser (T³ Schweiz), Ralph Schimmack (Berlin),
Roland Seidel (Mecklenburg-Vorpommern), Mirco Tewes (Berlin), Frank Ueckert (Niedersachsen),
Hildegard Urban-Woldron (T³ Österreich)

© 2013 T³

Dieses Werk wurde in der Absicht erarbeitet, Lehrerinnen und Lehrern geeignete Materialien für den Unterricht an die Hand zu geben. Die Anfertigung einer notwendigen Anzahl von Fotokopien für den Einsatz in der Klasse, einer Lehrerfortbildung oder einem Seminar ist daher gestattet. Hierbei ist auf das Copyright von T³ hinzuweisen. Jede Verwertung in anderen als den genannten oder den gesetzlich zugelassenen Fällen ist ohne schriftliche Genehmigung von T³ nicht zulässig. Alle verwendeten Marken sind Eigentum ihrer Inhaber.

Inhalt

1. Vorwort	3
2. Experimente (Lehrermaterial, Schülerarbeitsblatt, Hilfen für die Schüler, Lösungen)	5
Mechanik	
M.1 Bewegungen aufzeichnen und analysieren – Schiefe Ebene und Fallversuche	6
M.2 Bungee-Jumping und Schwerelosigkeit	17
M.3 Das Grundgesetz der Mechanik (2. NEWTON 'sches Axiom)	23
M.4 Untersuchungen am Fadenpendel	30
Akustik	
A.1 Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in Luft	36
Elektrizitätslehre	
E.1 Lade- und Entladevorgänge am Kondensator.....	42
E.2 Das Magnetfeld einer Spule	50
E.3 Die Schüttellampe – eine Einführung in die elektromagnetische Induktion	59
E.4 Das Induktionsgesetz	63
E.5 Der elektrische Schwingkreis	69
E.6 Diodenkennlinien / Gleichrichterwirkung von Dioden	76
E.7 Der Maximum-Power-Point (MPP) einer Solarzelle	84
Optik	
O.1 Beugung und Interferenz von Laserlicht	89
3. Anleitungen zur Datenerfassung und Auswertung mithilfe der TI-Nspire™ Technologie (Betriebssystem TI-Nspire™ 3.x)	97
4. Literaturempfehlungen	119

Vorwort

Das vorliegende Material soll Lehrerinnen und Lehrer beim Einsatz von graphikfähigen Taschenrechnern (GTR) und Taschencomputern (TC) mit Computeralgebrasystem (CAS) im Physikunterricht unterstützen. Es wurde von Lehrerinnen und Lehrern erstellt, die sich innerhalb von T³ Deutschland in der Physikgruppe engagieren, dabei Materialien verfassen und Lehrerfortbildungen durchführen.

Graphikfähige Taschenrechner und Taschencomputer mit Computeralgebrasystem kommen im Mathematikunterricht bereits häufig zum Einsatz und haben diesen erheblich verändert und bereichert. Mit der Verwendung dieser sogenannten Handheldtechnologie eröffnen sich auch für den Physikunterricht vielfältige Möglichkeiten.

GTR und CAS lassen sich mit wenig Aufwand zu vollwertigen digitalen Messwerterfassungssystemen mit Messsensoren für über 50 Größen ausbauen. Damit können viele Experimente aus dem naturwissenschaftlichen Bereich durchgeführt und ausgewertet werden. Die Auswertung muss nicht extern (z. B. mithilfe eines PC) erfolgen. Die Schülerinnen und Schüler nutzen vielmehr ihr CAS oder ihren GTR und wenden unterschiedliche, aus dem Mathematikunterricht bekannte und eingeübte Auswertungsmethoden an.

Daraus ergeben sich vielfältige **Chancen für den Physikunterricht**. Beispiele hierfür sind:

- Schüler- statt Demonstrationsexperimente,
- differenziertes Arbeiten in Gruppen mit ergebnisoffenen Fragestellungen,
- kontextorientierte und alltagsbezogene Fragestellungen.

Der Einsatz von GTR oder CAS im Physikunterricht leistet insgesamt einen Beitrag zur Vorbereitung der Schülerinnen und Schüler auf computergestützte Arbeitsweisen in den Naturwissenschaften. Die Physik und ihre Phänomene rücken in den Fokus. Die Rechner helfen bei der Überwindung mathematischer Schwierigkeiten zugunsten der Behandlung physikalischer Inhalte und damit auch zugunsten des Erwerbs fachbezogener Kompetenzen.

Das pädagogische **Potenzial des Technologieeinsatzes** wird in der Interaktivität und da vor allem in der daraus folgenden kognitiven Auseinandersetzung der Schülerinnen und Schüler mit den Lerngegenständen gesehen, die entweder durch materiale oder durch personale Steuerung der Lehrperson initiiert werden muss. Ausgehend von eher offenen, aber anspruchsvollen Fragestellungen wird das selbstständige und eigenverantwortliche Arbeiten der Schülerinnen und Schüler durch eine vorgegebene Strukturierung der Arbeitsaufträge und ein Konzept differenzierter Öffnungsgrade und abgestufter Lernhilfen realisiert und unterstützt. Die Lernenden erhalten zu einer komplexen, aber inhaltlich linear strukturierten Aufgaben- oder Problemstellung unterschiedlich weit gehende Hilfen, die von Denkanstößen bis zu Musterlösungen reichen und entscheiden selbst, ob und wann sie von diesen Hilfen Gebrauch machen.

Die nachfolgenden Beiträge enthalten neben der Beschreibung des jeweiligen Experimentes auch Hinweise zum sinnvollen Einsatz, Tipps und Tricks, Schülerarbeitsblätter, Hilfen für die Schülerinnen und Schüler und Lehrerlösungen. Die

Schülerarbeitsblätter liegen bei einigen Experimenten in zwei Versionen vor, die sich durch den Öffnungsgrad der Arbeitsaufträge unterscheiden. In beiden Fällen sollen die Schülerinnen und Schüler jeweils ein eigenes Versuchsprotokoll anfertigen. Das Eintragen der Messwerte, Auswertungsschritte und Versuchsergebnisse in das Aufgabenblatt ist nicht vorgesehen.

Die Versuche lassen sich in unterschiedliche **Kontexte** einbinden. Es wurde daher darauf verzichtet, dies vorzugeben.

Es wird die **TI-Nspire™-Technologie** verwendet. Die Versuche lassen sich aber auch mit anderen GTR oder CAS durchführen.

Nach den einzelnen Beiträgen finden sich Anleitungen, wo die wichtigsten Bedienhinweise für das Messen und Auswerten mit dem TI-Nspire™ nachgeschlagen werden können. Diese können den Schülerinnen und Schülern als zusätzliche Hilfen passgenau zur Verfügung gestellt werden.

Darüber hinaus gibt es neben der vorliegenden Druckversion ein **kostenfreies Onlineangebot** mit editierbaren Schülerarbeitsblättern, Beispielmessreihen, aktualisierten Anleitungen und weiterem Zusatzmaterial. ► www.t3deutschland.de

Mirco Tewes
Koordinator der Fachgruppe T³-Physik

Kontakt bei Anfragen, Anregungen oder Interesse an Fortbildungen: t3physik@aol.com

Experimente

Bewegungen aufzeichnen und analysieren

Das Aufzeichnen und Analysieren von Bewegungen spielt in der experimentellen Mechanik eine große Rolle. Mit Stoppuhr und Maßband stößt man allerdings schnell an technische Grenzen, da sich viele Bewegungen nicht mehr vermessen lassen, wenn sie z. B. zu schnell ablaufen. Beispiele hierfür sind **Fallbewegungen** unterschiedlichster Körper, **mechanische Schwingungen** und zahlreiche „reale“ Bewegungen aus dem Lebensumfeld der Schülerinnen und Schüler. Dennoch ist es wünschenswert, dass auch solche Bewegungen im Schülerexperiment erfasst und analysiert werden können.

Die computergestützte Messwerterfassung bietet neben der Videoanalyse eine einfache Möglichkeit mit einem Ultraschallabstaudsmesser Bewegungen zu erfassen und anschließend zu analysieren. Dabei werden Ultraschallsignale ausgesendet, welche am nächsten Objekt reflektiert werden. Die Laufzeit bis zum Eintreffen des reflektierten Signals am Sensor wird gemessen. Das CBR 2TM von Texas Instruments ist darüber hinaus Dank eines eingebauten Prozessors in der Lage, die Entfernung des Objektes vom Sensor, die Geschwindigkeit und die Beschleunigung des Messobjektes zu berechnen und auszugeben. Ein GTR oder ein CAS wird so in Verbindung mit einem Ultraschallabstaudsmesser zu einem wertvollen und vielseitig einsetzbaren Werkzeug im experimentellen Mechanikunterricht.

Versuche

Nachfolgend werden aus der Vielfalt der möglichen Experimente mit Ultraschallabstaudsmessern zwei Versuche beschrieben, die sich jeweils leicht als Schülerversuch durchführen lassen.

1. Versuch: Ein Ball rollt eine geneigte Ebene hinab, so dass die **Gesetze der geradlinigen, gleichmäßig beschleunigten Bewegung** untersucht werden können.

2. Versuch: Im Mittelpunkt stehen **Fallbewegungen** unterschiedlicher Körper, bei denen auch die Luftreibung oder der Auftrieb eine Rolle spielen. Werden schwere, nicht zu große Bälle verwendet, kann vom freien Fall ausgegangen werden.

Material

Für alle Versuche werden benötigt:

- (Taschen-)Computer (hier TI-NspireTM CAS)
- Ultraschallbewegungssensor (hier CBR 2TM)

Zusätzlich für den 1. Versuch:

- geneigte Ebene
- Ball (z. B. 15 cm Durchmesser)

Versuchsaufbau



Versuch 1: Experimente an der geneigten Ebene

Zusätzlich für den 2. Versuch:

- Stativ für den Ultraschallsensor (ca. 2 m hoch)
- Fallkörper, z. B. verschiedene Bälle, Regenschirm, Papierkegel, Bücher (vgl. Tipps und Tricks, 6.)

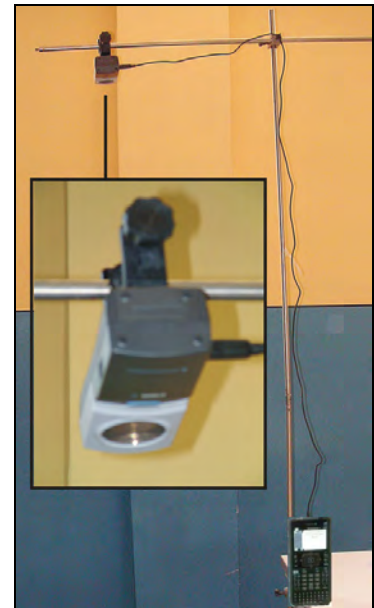
Versuchsdurchführung

In beiden Versuchen werden Bewegungen untersucht, indem der Abstand des sich bewegenden Körpers vom Sensor in Abhängigkeit von der Zeit gemessen wird.

1. Versuch: Ein Ball rollt eine geneigte Ebene hinab. Er rollt weitgehend gleichmäßig beschleunigt. Die Beschleunigung ist vom Neigungswinkel abhängig.

Vorbereitung: 10 min,

Durchführung: 35 min (mit Auswertung)



Versuch 2: Experimente zu Fallbewegungen

2. Versuch: Verschiedene Körper (vgl. Tipps und Tricks, 6.) werden fallen gelassen. Hierbei können sowohl der freie Fall als auch Fallbewegungen untersucht werden, bei denen die Luftreibung oder der Auftrieb eine Rolle spielen.

Vorbereitung: 10 min, Durchführung: 35 min (mit Auswertung)

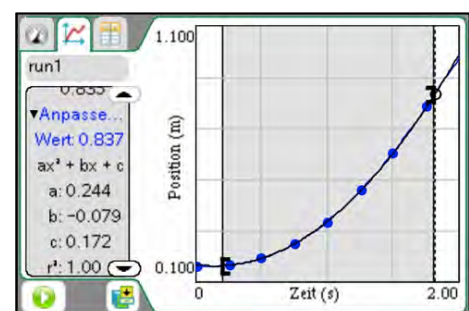
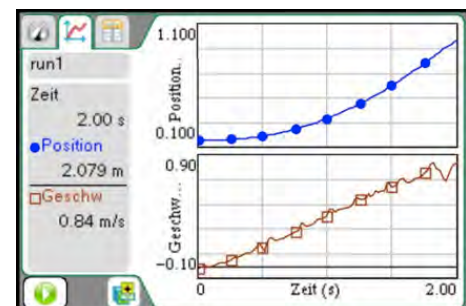
Einstellungen

- Messmodus: Time Based (zeitbasiert)
- Messrate, z. B. 50 Messungen pro Sekunde
- Länge des Experimentes, z. B. 2 s

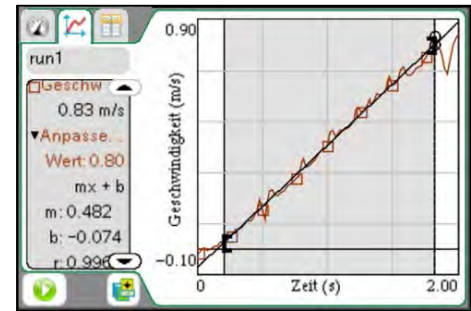
Hinweise zur Auswertung

Versuche mit einem Ultraschallabstandssensor lassen sich auf vielfältige Art und Weise auswerten.

Eine Möglichkeit für die Auswertung der gewonnenen Daten (*Abstands-Zeit-* und *Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm*) ist die Analyse der funktionalen Abhängigkeit des Weges und der Geschwindigkeit von der Zeit. Dazu kann die Regression durch eine quadratische bzw. lineare Funktion (vgl. Anleitung A10.) verwendet werden.



Um Ausreißer von Messwerten auszuschließen, kann der Bereich der Messwerte eingeschränkt werden. Dadurch lässt sich die Qualität der Regression verbessern.



Die Momentangeschwindigkeiten und Momentanbeschleunigungen lassen sich durch numerische Differentiation näherungsweise berechnen. Dabei kann der differenzielle Charakter der Größen *Geschwindigkeit* und *Beschleunigung* hervorgehoben werden (siehe Tipps und Tricks, 5.).

Für die Bewegungen sollen dabei diejenigen mathematischen Modelle gefunden werden, die diese bestmöglichst beschreiben.

Selbstverständlich lassen sich auch die vom CBR 2TM bereitgestellten Listen der Geschwindigkeit und Beschleunigung (siehe Tipps und Tricks, 5.) nutzen, wenn die Schülerinnen und Schüler ausreichend mit dem näherungsweisen Berechnen von Momentangeschwindigkeiten vertraut sind.

Tipps und Tricks

... zum CBR 2TM:

1. Der Abstand eines Körpers, bei dem der Sensor zuverlässig arbeitet, beträgt zwischen 0,15 m und 6 m.
2. Der Sensor verfügt über einen Empfindlichkeitsschalter mit zwei Modi: *Track* und *Normal*. Der Normalmodus ist für die meisten Experimente geeignet. Im Trackmodus arbeitet der Sensor mit einer verringerten Empfindlichkeit. Dieser Modus eignet sich daher für Experimente mit geringen Störgeräuschen, z. B. für Fahrbahnexperimente.
3. Der Öffnungswinkel des Ultraschallsignals beträgt 30°. Es wird also kein schmaler, gebündelter Strahl ausgesendet.
4. Die vom CBR 2TM gelieferten Geschwindigkeitsdaten werden durch numerisches Differenzieren der Abstandsdaten gewonnen:

$$v_n = \frac{\frac{d_{n+1} - d_{n-1}}{2}}{t_{n+1} - t_n}$$

5. Die Berechnung der Beschleunigungsdaten beruht auf dem gleichen Prinzip. Allerdings wirken sich Messungenauigkeiten und die zweifache numerische Differentiation verfälschend auf die Ergebnisse aus. Deshalb wird an dieser Stelle nicht mit den so berechneten Beschleunigungswerten gearbeitet.

... zum Fallexperiment:

6. Als Fallkörper kann im Prinzip alles verwendet werden, was das Ultraschallsignal ausreichend reflektiert. Kugeln und Bälle mit einem Durchmesser von 5 bis 20 cm fallen weitgehend frei, wenn sie nicht zu leicht sind. Ein Papierkegel (Durchmesser 20 cm, Öffnungswinkel 20°) oder ein Regenschirm bewegen sich zunächst beschleunigt, aber sehr schnell stellt sich aufgrund der Reibung eine gleichförmige Bewegung ein. Die Bewegung großer Gymnastikbälle (Durchmesser ab 80 cm) wird durch die Luftreibung kaum beeinflusst. Hier lässt sich aber die Wirkung des Auftriebs erkennen, wodurch die Fallbeschleunigung signifikant herabgesetzt wird.



Verschiedene Fallkörper

Bewegungen aufzeichnen und analysieren

Geradlinige, gleichmäßig beschleunigte Bewegung

Aufgabenstellung

Untersuchen Sie den zeitlichen Verlauf des Weges und der Geschwindigkeit für die beschleunigte Bewegung.

- (1) Bauen Sie den Versuch entsprechend der Abbildung auf. Positionieren Sie den Ultraschallbewegungssensor so, dass der Weg bis zur Endposition des Balls vollständig erfasst wird. Stellen Sie die Messwerterfassung entsprechend ein und positionieren Sie den Ball ca. 15 cm vor dem Sensor. Lassen Sie den Ball los und starten Sie kurz danach die Messwerterfassung. [Hilfe 1](#)
- (2) Beschreiben Sie anhand der erhaltenen Diagramme (Geschwindigkeit-Zeit, Weg-Zeit) das Verhalten der Geschwindigkeit und des Wegs gegenüber der Zeit. [Hilfe 2](#)
- (3) Stellen Sie eine Vermutung auf, von welchem Typ die beiden Funktionen sind. Überprüfen Sie Ihre Vermutung, indem Sie als Regression (vgl. Anleitung A10) denjenigen Funktionstyp auswählen, dessen Graph mit der entsprechenden Messkurve weitgehend übereinstimmt (Modellfunktion, vgl. Anleitung A11).
- (4) Wiederholen Sie die Aufträge (2) und (3) noch zwei Mal mit geänderten Neigungswinkeln der Ebene.
- (5) Vergleichen Sie die Ergebnisse der drei Messungen und formulieren Sie ein Fazit. [Hilfe 3](#)

Zusatzaufgaben

- (6) Ermitteln Sie mithilfe eines geeigneten Näherungsverfahrens die Momentangeschwindigkeit des Balls während der gesamten Bewegung.
- (7) Stellen Sie die Momentangeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit graphisch dar und übernehmen Sie den Graphen in Ihre Unterlagen (Skizze). Interpretieren Sie das Diagramm.

Material

- (Taschen-)Computer
- Ultraschallbewegungssensor
- geneigte Ebene
- Ball

Versuchsaufbau



Fahrbahnversuch

Bewegungen aufzeichnen und analysieren

Geradlinige, gleichmäßig beschleunigte Bewegung

Hilfe 1

Einstellungen

- Messmodus: Time Based (Zeitbasiert)
- Messrate, 50 Messungen pro Sekunde
- Länge des Experimentes, z. B. 2 s

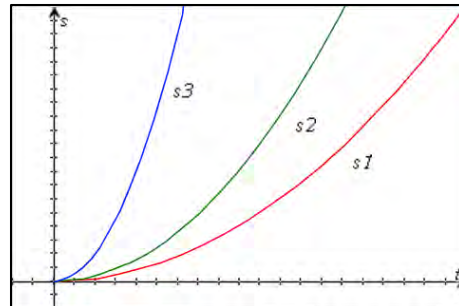
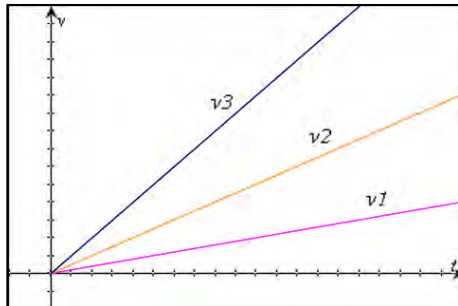


Hilfe 2

proportionales / umgekehrt proportionales / lineares / quadratisches / exponentielles Verhalten gegenüber der Zeit



Hilfe 3



Wie hängen Geschwindigkeits- und Wegzunahme vom Neigungswinkel ab?

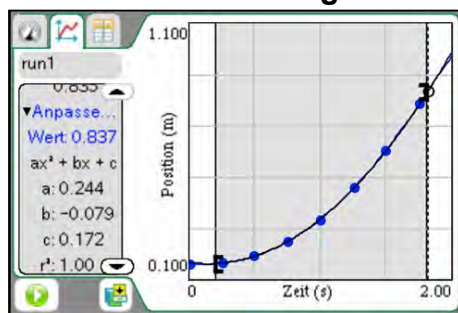
Bewegungen aufzeichnen und analysieren

Geradlinige, gleichmäßig beschleunigte Bewegung

Anmerkung: Für das Modellieren wurde die in der Messapplikation integrierte Analysefunktion verwendet. Folgende Methoden, die die physikalisch-mathematische Bedeutung der Parameter in den Vordergrund rücken, können alternativ verwendet werden:

- Modellieren mithilfe des Anpassens des Funktionsgraphen an die Messpunkte durch „Ziehen“ (Applikation „Graphs“).
- Modellieren mithilfe des Findens der passenden Parameter durch Schieberegler oder durch sinnvolles Probieren (Applikation „Graphs“).

Abstands-Zeit-Diagramm



Interpretation: Der Abstand zum Sensor wächst mit steigender Zeit immer schneller. Der Ball legt in gleichen Zeiten immer größere Wege zurück bzw. benötigt für den gleichen Weg immer geringere Zeiten. Es liegt eine beschleunigte Bewegung vor.

Modellfunktion:

Abhängigkeit des Weges von der Zeit

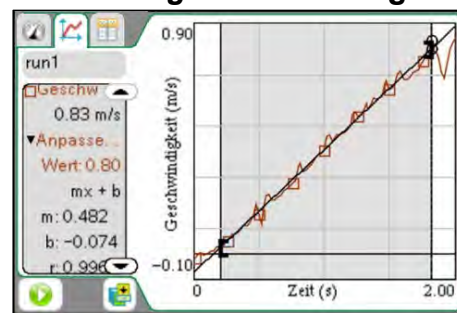
$$s(t) = 0,24 \cdot t^2 - 0,08 \cdot t + 0,17$$

Fazit (nach mehreren Messungen):

Weg-Zeit-Gesetz:

$$s(t) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 + v_0 \cdot t + s_0$$

Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm



Interpretation: Die Geschwindigkeit nimmt gleichmäßig zu. Es handelt sich um eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung.

Modellfunktion:

Abhängigkeit der Geschwindigkeit von der Zeit

$$v(t) = 0,48 \cdot t + 0,07$$

Geschwindigkeits-Zeit-Gesetz:

$$v(t) = a \cdot t + v_0$$

Die Beschleunigung wächst mit dem Neigungswinkel.

Bewegungen aufzeichnen und analysieren

Fallbewegungen

Aufgabenstellung

Untersuchen Sie den zeitlichen Verlauf des Weges und der Geschwindigkeit für Fallbewegungen.

- (1) Bauen Sie den Versuch entsprechend der Abbildung auf. Justieren Sie den Sensor so, dass der ganze Weg des Fallkörpers bis zur Endposition erfasst werden kann. Stellen Sie die Messwernerfassung entsprechend ein und positionieren Sie den Fallkörper ca. 15 cm unter dem Sensor. Starten Sie die Messwernerfassung und lassen Sie den Fallkörper möglichst gleichzeitig los. [Hilfe 1](#)

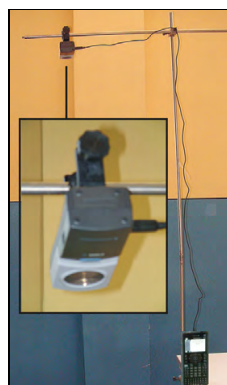
Hinweis: Um unbrauchbare Messresultate zu vermeiden, darf sich die Person, die den Fallkörper hält und loslässt, nicht im Bereich des Ultraschallsignals aufhalten.

- (2) Wählen Sie einen Bereich aus, in dem der Fallkörper frei fällt (vgl. Anleitung A6).
- (3) Beschreiben Sie anhand der erhaltenen Diagramme (Geschwindigkeit-Zeit, Weg-Zeit) das Verhalten der Geschwindigkeit und des Wegs gegenüber der Zeit. [Hilfe 2](#)
- (4) Stellen Sie eine Vermutung auf, von welchem Typ die beiden Funktionen sind. Überprüfen Sie Ihre Vermutung, indem Sie als Regression (vgl. Anleitung A10) denjenigen Funktionstyp auswählen, dessen Graph mit der entsprechenden Messkurve weitgehend übereinstimmt (Modellfunktion, vgl. Anleitung A11). [Hilfe 3](#)
- (5) Verwenden Sie 2 weitere unterschiedliche Fallkörper und wiederholen Sie die Aufträge (1) bis (4).
- (6) Vergleichen Sie die Ergebnisse der drei Messungen und formulieren Sie ein Fazit.

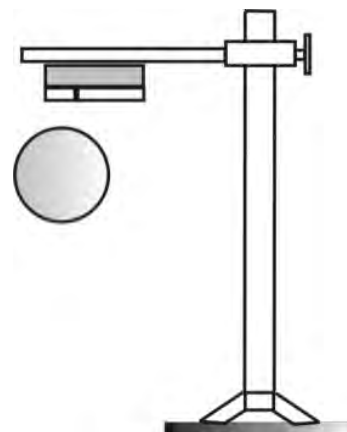
Material

- (Taschen-)Computer
- Ultraschallbewegungssensor mit Stativklemme
- Stativ für den Ultraschallsensor (ca. 2 m hoch)
- Fallkörper, z. B.: verschiedene Bälle, Regenschirm, Papierkegel, Bücher

Versuchsaufbau



Fallversuch



Bewegungen aufzeichnen und analysieren

Fallbewegungen

Hilfe 1

Einstellungen

- Messrate, 50 Messungen pro Sekunde
- Messmodus: Time Based (zeitbasiert)
- Länge des Experimentes, z. B. 2 s

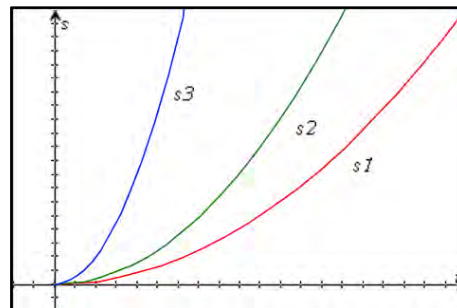
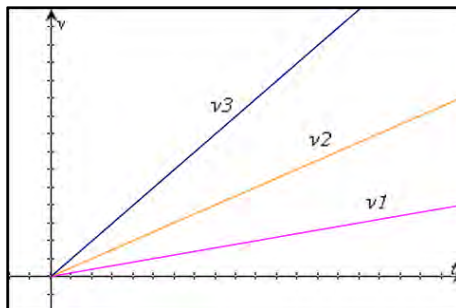


Hilfe 2

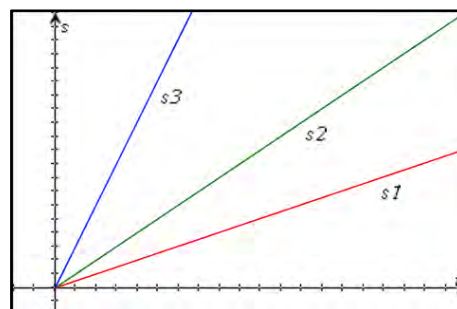
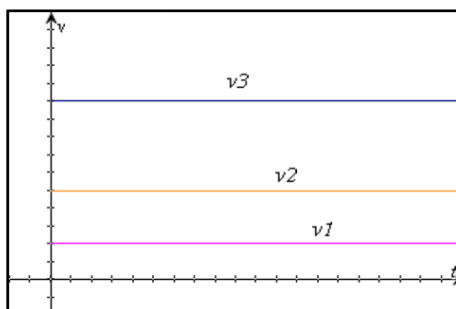
proportionales / umgekehrt proportionales / lineares / quadratisches / exponentielles Verhalten gegenüber der Zeit



Hilfe 3



Nimmt die Geschwindigkeit linear und der Weg quadratisch zu oder



ist die Geschwindigkeit konstant und der Weg nimmt linear zu?

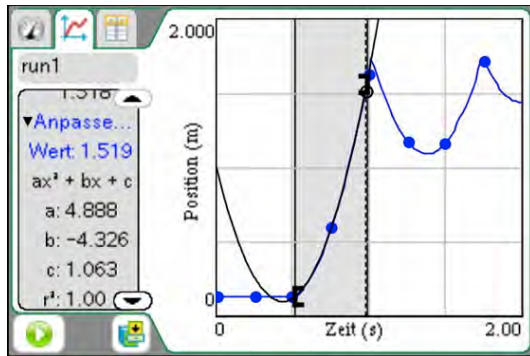
Kurvenanpassung: vgl. Anleitungen A10 oder A11.

Bewegungen aufzeichnen und analysieren

Fallbewegungen

Ball (Durchmesser 15 cm, Masse 300 g)

Abstands-Zeit-Diagramm

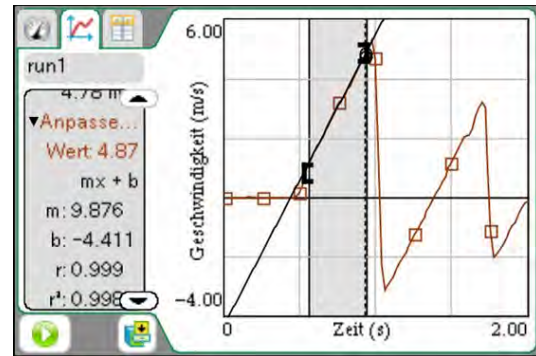


Interpretation: Der Abstand zum Sensor wächst mit der Zeit immer schneller. Der Ball legt im ausgewählten Intervall in gleichen Zeiten immer größere Wege zurück. Es liegt eine beschleunigte Bewegung vor.

Modellfunktion: Abstand zum Sensor in Abhängigkeit von der Zeit

$$s(t) = 4,9 \cdot t^2 - 4,3 \cdot t + 1,06$$

Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm



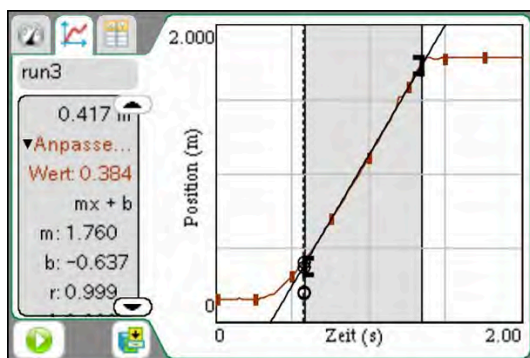
Interpretation: Die Geschwindigkeit nimmt gleichmäßig zu. Es handelt sich um eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung, den freien Fall.

Modellfunktion: Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit

$$v(t) = 9,88 \cdot t - 4,4$$

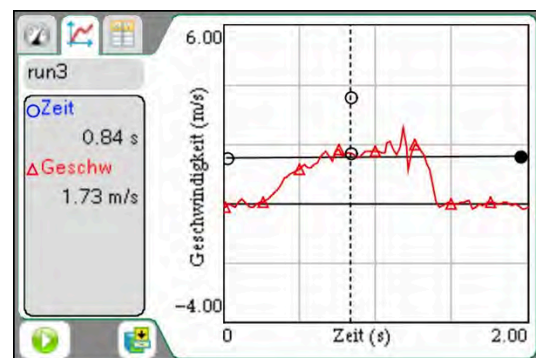
Papierkegel (Durchmesser 20 cm, Öffnungswinkel des Kreissektors 20°)

Abstands-Zeit-Diagramm



Interpretation: Anfangs wächst der Abstand zum Sensor mit der Zeit immer schneller. Der Kegel fällt beschleunigt. Nach ca. 0,6 s wächst der Abstand gleichmäßig. Der Kegel fällt nun gleichförmig.

Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm



Interpretation: Die Geschwindigkeit nimmt anfangs zu, erst schneller, am Ende der Beschleunigungsphase immer langsamer. Die Luftreibung nimmt mit steigender Geschwindigkeit zu. Nach ca. 0,6 s fällt der Kegel gleichförmig, da sich Reibungs- und Gewichtskraft kompensieren.

Modellfunktion:

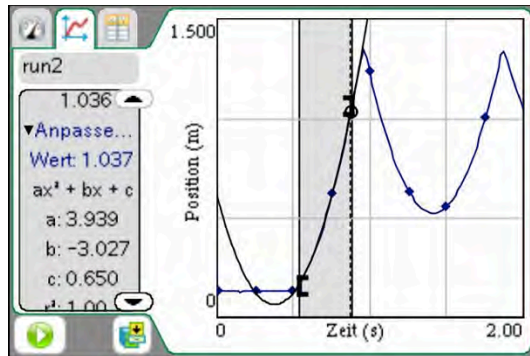
Abhängigkeit des Abstandes von der Zeit
(ab 0,6 s):

$$s(t) = 1,76 \cdot t - 0,64$$

Modellfunktion:

Nach 0,6 s bleibt die Geschwindigkeit
konstant:

$$v(t) = 1,76$$

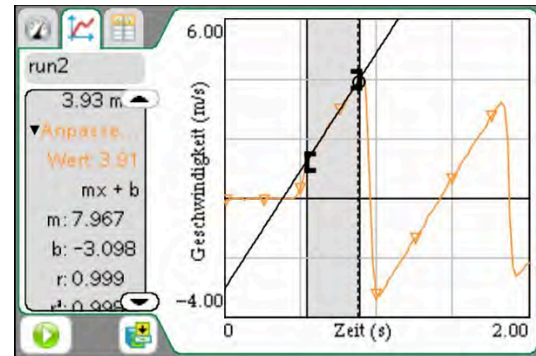
Gymnastikball (Durchmesser 80 cm)**Abstands-Zeit-Diagramm**

Interpretation: Der Abstand zum Sensor wächst mit steigender Zeit immer schneller. Der Ball legt im ausgewählten Intervall in gleichen Zeiten immer größere Wege zurück bzw. benötigt für den gleichen Weg immer geringere Zeiten. Es liegt eine beschleunigte Bewegung vor.

Modellfunktion:

Abstand vom Sensor in Abhängigkeit von der Zeit

$$s(t) = 4 \cdot t^2 - 3,0 \cdot t + 0,65$$

Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm

Interpretation: Die Geschwindigkeit nimmt gleichmäßig zu. Die Reibung spielt demnach keine Rolle, da sonst die Geschwindigkeit nicht gleichmäßig steigen würde. Die Beschleunigung ist mit 8 m/s^2 aber geringer als g , weil die konstante Auftriebskraft zu einer nicht vernachlässigbaren Verminderung der beschleunigenden Kraft führt.

Modellfunktion:

Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit

$$v(t) = 8 \cdot t - 3,1$$



T³-PHYSIK

Schülerexperimente im Physikunterricht mit digitaler Messwerterfassung

Die Top 13: Sicheres Gelingen - hoher Lernerfolg



T³ DEUTSCHLAND
T³ ÖSTERREICH
T³ SCHWEIZ

www.t3deutschland.de
www.t3oesterreich.at
www.t3schweiz.ch



education.ti.com/deutschland
education.ti.com/oesterreich
education.ti.com/schweiz

Weitere Materialien finden Sie unter:
www.ti-unterrichtsmaterialien.net