

David Halliday, Robert Resnick und Jearl Walker

Übungsbuch Halliday Physik

für natur- und ingenieurwissenschaftliche
Studiengänge

Übersetzung herausgegeben von Stephan W. Koch



Halliday Physik
für natur- und ingenieurwissenschaftliche
Studiengänge

Halliday Physik für natur- und ingenieurwissenschaftliche Studiengänge

Übungsbuch

David Halliday, Robert Resnick und Jearl Walker

*Herausgeber der deutschen Übersetzung
Stephan W. Koch*

Dritte, vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage

Die Autoren

David Halliday

University of Pittsburgh, USA

Robert Resnick

Rensselaer Polytechnic Institute, USA

Jearl Walker

Cleveland State University, USA

Der Übersetzungsherausgeber

Stephan W. Koch

Philipps-Universität Marburg
Fachbereich Physik
Renthof 6
35032 Marburg
Deutschland

Die Übersetzer

Michael Bär, Wiesloch, Deutschland

Matthias Delbrück, Dossenheim, Deutschland

Titel der Originalausgabe

Fundamentals of Physics / Extended 10th Edition
Copyright © 2014 John Wiley & Sons, Inc.
All Rights Reserved. This translation published
under license with the original publisher John
Wiley & Sons, Inc.

Titelbild

Adelevin/Stock-Illustration-ID: 480952174

Alle Bücher von Wiley-VCH werden sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren, Herausgeber und Verlag in keinem Fall, einschließlich des vorliegenden Werkes, für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler irgendeine Haftung.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© 2020 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA,
Boschstr. 12, 69469 Weinheim, Germany

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Photokopie, Mikroverfilmung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie nicht eigens als solche markiert sind.

Umschlaggestaltung Formgeber, Mannheim

Satz le-tex publishing services GmbH, Leipzig, Deutschland

Print ISBN 978-3-527-41369-0

ePDF ISBN 978-3-527-82267-6

ePub ISBN 978-3-527-82268-3

Gedruckt auf säurefreiem Papier.

Inhaltsverzeichnis

1	Geradlinige Bewegung	1	19	Der Gaußsche Satz	407
2	Kraft und Bewegung	63	20	Das elektrische Potenzial	427
3	Kinetische Energie und Arbeit	105	21	Kapazität	445
4	Potenzielle Energie und Energieerhaltung	125	22	Elektrischer Strom und Widerstand	461
5	Systeme von Teilchen	149	23	Stromkreise	475
6	Die Rotation ausgedehnter Körper	175	24	Magnetfelder	495
7	Rollbewegung, Drehmoment und Drehimpuls	201	25	Magnetfelder aufgrund von Strömen	511
8	Gleichgewicht und Elastizität	223	26	Induktion und Induktivität	527
9	Gravitation	245	27	Elektromagnetische Schwingkreise und Wechselstrom	549
10	Fluide	263	28	Magnetismus und Materie	567
11	Schwingungen	277	29	Elektromagnetische Wellen	581
12	Wellen – I	293	30	Abbildungen	597
13	Wellen – II	311	31	Interferenz	611
14	Temperatur, Wärme und der erste Hauptsatz der Thermodynamik	327	32	Beugung	627
15	Die kinetische Gastheorie	343	33	Relativitätstheorie	641
16	Entropie und der zweite Hauptsatz der Thermodynamik	361	34	Photonen und Materiewellen	659
17	Elektrische Ladung	377	35	Mehr über Materiewellen	671
18	Elektrische Felder	391	36	Atome	689
			37	Elektrische Leitfähigkeit von Festkörpern	701

1 Geradlinige Bewegung

Beispielaufgaben

Sie fahren in einem heruntergekommenen Kleinlastwagen mit 70 km/h 8,4 km weit eine gerade Straße entlang, bevor ihrem Fahrzeug das Benzin ausgeht und es anhält. Während der nächsten 30 min legen Sie bis zur Tankstelle auf der gleichen Straße weitere 2,0 km zu Fuß zurück.

BEISPIELAUFGABE 1.1

(a) Wie groß ist Ihre Verschiebung insgesamt, gemessen vom Anfang Ihrer Fahrt bis zu Ihrer Ankunft an der Tankstelle?

LÖSUNG: Nehmen Sie der Einfachheit halber an, dass Sie sich in positiver Richtung auf einer x -Achse bewegen, und zwar von einem Punkt $x_1 = 0$ bis zu einem zweiten Punkt x_2 bei der Tankstelle. Dieser zweite Punkt liegt bei $x_2 = 8,4 \text{ km} + 2,0 \text{ km} = 10,4 \text{ km}$. Die **LÖSUNGSIDEE** ist hier, dass Ihre Verschiebung Δx entlang der x -Achse gleich der Position des zweiten Punkts minus der des ersten Punkts ist. Mit Gl. Ü1.1 erhalten wir dann

$$(\text{Ü1.1}) \quad \Delta x = x_2 - x_1$$

$$\Delta x = x_2 - x_1 = 10,4 \text{ km} - 0 = 10,4 \text{ km} .$$

Ihre Gesamtverschiebung beträgt also 10,4 km in die positive Richtung der x -Achse.

(b) Wie groß ist das Zeitintervall Δt zwischen dem Anfang Ihrer Fahrt und Ihrer Ankunft an der Tankstelle?

LÖSUNG: Das Zeitintervall $\Delta t_{\text{Fuß}}$ Ihres Fußwegs kennen wir bereits. Was noch fehlt, ist das entsprechende Intervall Δt_{Fahrt} Ihrer Fahrt. Wir wissen allerdings, dass die Verschiebung Δx_{Fahrt} während der Fahrt gleich 8,4 km und die Durchschnittsgeschwindigkeit Δx_{Fahrt} gleich 70 km/h ist. Gleichung Ü1.2 liefert die **LÖSUNGSIDEE**: Die Durchschnittsgeschwindigkeit entspricht dem Verhältnis zwischen der Verschiebung bei der Fahrt und dem entsprechenden Zeitintervall

$$(\text{Ü1.2}) \quad v_{\text{gem}} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

$$v_{\text{gem, Fahrt}} = \frac{\Delta x_{\text{Fahrt}}}{\Delta t_{\text{Fahrt}}} .$$

Nach Umformung und Einsetzen der Zahlenwerte erhalten wir damit

$$\Delta t_{\text{Fahrt}} = \frac{\Delta x_{\text{Fahrt}}}{v_{\text{gem, Fahrt}}} = \frac{8,4 \text{ km}}{70 \text{ km/h}} = 0,12 \text{ h}$$

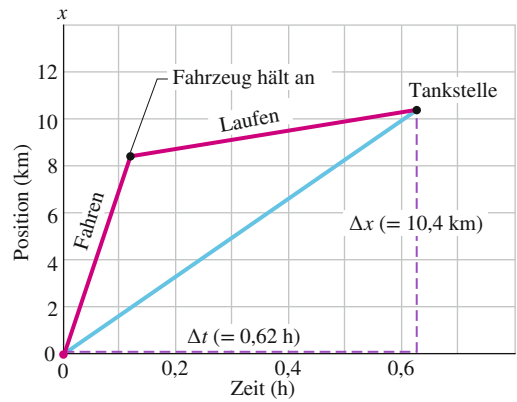
und somit

$$\Delta t = \Delta t_{\text{Fahrt}} + \Delta t_{\text{Fuß}} = 0,12 \text{ h} + 0,50 \text{ h} = 0,62 \text{ h} .$$

(c) Wie groß ist Ihre Durchschnittsgeschwindigkeit v_{gem} zwischen dem Beginn Ihrer Fahrt und Ihrer Ankunft an der Tankstelle? Ermitteln Sie diese sowohl numerisch als auch grafisch.

Abb. Ü1.1

Die Linien, die mit „Fahren“ und „Laufen“ gekennzeichnet sind, entsprechen den Ort-Zeit-Kurven während der Phasen des Fahrens und des Laufens. (Die Kurve für den Fußmarsch geht von einer konstanten Gehgeschwindigkeit aus.) Die Steigung der Geraden, die den Ursprung mit dem Punkt „Tankstelle“ verbindet, gibt die Durchschnittsgeschwindigkeit über die gesamte Strecke – vom Startpunkt bis zur Tankstelle – an.



LÖSUNG: Auch hier liefert Gl. Ü1.2 die **LÖSUNGSDIEE**: v_{gem} für die gesamte Wegstrecke ist gleich dem Verhältnis der Verschiebung von 10,4 km für die gesamte Wegstrecke zu dem Zeitintervall von 0,62 h für die gesamte Wegstrecke. Mit Gl. Ü1.2 erhalten wir dann

$$v_{\text{gem}} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{10,4 \text{ km}}{0,62 \text{ h}} = 16,8 \text{ km/h} \approx 17 \text{ km/h}.$$

Um v_{gem} grafisch zu ermitteln, zeichnen wir zunächst die Bahnkurve $x(t)$ wie in Abb. Ü1.1 gezeigt, wobei Anfangs- und Endpunkt der Kurve durch den Ursprung und den Punkt „Tankstelle“ gegeben sind. Die Lösung liefert die Tatsache, dass Ihre Durchschnittsgeschwindigkeit gleich der Steigung der Geraden zwischen diesen beiden Punkten ist, also gleich dem Verhältnis von $\Delta x = 10,4 \text{ km}$ zu $\Delta t = 0,62 \text{ h}$. Damit ergibt sich $v_{\text{gem}} = 16,8 \text{ km/h}$.

(d) Um Ihren Kanister mit Benzin zu füllen, zu bezahlen und zu Ihrem Kleinlastwagen zurückzulaufen, brauchen Sie weitere 45 min. Wie groß ist Ihre Effektivgeschwindigkeit zwischen dem Beginn Ihrer Fahrt und Ihrer Rückkehr zu Ihrem Fahrzeug?

LÖSUNG: Die **LÖSUNGSDIEE** ist hier, dass Ihre Effektivgeschwindigkeit gleich dem Verhältnis zwischen der Entfernung, die Sie insgesamt zurückgelegt haben, und dem gesamten Zeitintervall ist, das Sie dafür benötigen haben. Die Gesamtentfernung entspricht $8,4 \text{ km} + 2,0 \text{ km} + 2,0 \text{ km} = 12,4 \text{ km}$. Das gesamte Zeitintervall ist gleich $0,12 \text{ h} + 0,50 \text{ h} + 0,75 \text{ h} = 1,37 \text{ h}$. Anhand von Gl. Ü1.3 erhalten wir damit also

$$v_{\text{eff}} = \frac{12,4 \text{ km}}{1,37 \text{ h}} = 9,1 \text{ km/h}.$$

$$v_{\text{eff}} = \frac{\text{gesamte Entfernung}}{\Delta t} \quad (\text{Ü1.3})$$

BEISPIELAUFGABE 1.2

Abb. Ü1.2a zeigt eine $x(t)$ -Kurve für einen Aufzug, der zunächst steht, sich dann aufwärts bewegt (wobei wir aufwärts als die positive x -Richtung ansehen) und dann wieder anhält. Tragen Sie v als Funktion der Zeit auf.

LÖSUNG: Die **LÖSUNGSDIEE** liefert die Tatsache, dass wir die Geschwindigkeit zu jedem Zeitpunkt anhand der Steigung der Kurve $x(t)$ zu diesem Zeitpunkt bestimmen können. Die Steigung von $x(t)$ – und damit die Geschwindigkeit – ist in den Intervallen von 0 bis 1 s und von 9 s an gleich null, d. h., der Aufzug bewegt sich nicht. Im Zeitintervall zwischen 3 s und 8 s ist die Steigung konstant und von null verschieden, d. h., der Aufzug bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit. Dort können wir die Steigung von $x(t)$ folgendermaßen berechnen

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = v = \frac{24 \text{ m} - 4,0 \text{ m}}{8,0 \text{ s} - 3,0 \text{ s}} = +4,0 \text{ m/s}.$$

Das Pluszeichen gibt an, dass sich der Aufzug in die positive x -Richtung bewegt. Die Intervalle, in denen $v = 0$ und $v = 4 \text{ m/s}$ ist, sind in Abb. Ü1.2b dargestellt. Zusätzlich verändert sich v wie abgebildet in den Intervallen von 1–3 s und von

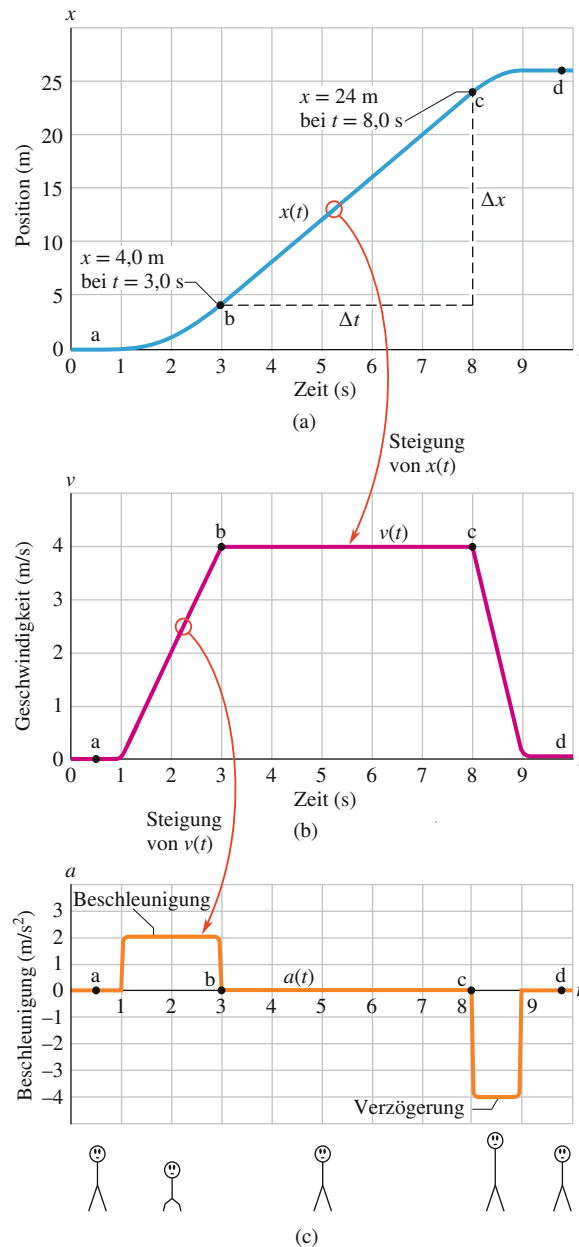


Abb. Ü1.2

(a) Die $x(t)$ -Kurve eines Aufzugs, der sich entlang einer x -Achse nach oben bewegt. (b) Die $v(t)$ -Kurve des Aufzugs. Beachten Sie, dass sie der Ableitung der $x(t)$ -Kurve entspricht ($v = dx/dt$). (c) Die $a(t)$ -Kurve des Aufzugs. Sie entspricht der Ableitung der $v(t)$ -Kurve ($a = dv/dt$). Die Strichmännchen am unteren Rand der Abbildung versuchen deutlich zu machen, wie sich der Körper eines Passagiers während der verschiedenen Beschleunigungsphasen anfühlt.

8–9 s, während denen sich der Aufzug zunächst in Bewegung setzt und schließlich abbrems und anhält. Abbildung Ü1.2b ist also die gewünschte Kurve. (Abb. Ü1.2c wird in Abschn. 1.3 im Lehrbuch behandelt.)

Liegt uns eine $v(t)$ -Kurve wie die aus Abb. Ü1.2b vor, so könnten wir daraus auch umgekehrt auf den Verlauf der entsprechenden $x(t)$ -Kurve (Abb. Ü1.2a) schließen. Wir könnten dabei jedoch nicht die tatsächlichen Werte für x zu verschiedenen Zeitpunkten bestimmen, da die Kurve $v(t)$ nur *Änderungen* in x angibt. Um solch eine Änderung in x während eines beliebigen Zeitintervalls zu ermitteln, müssen wir – in der Sprache der Differenzialrechnung – die Fläche „unterhalb der Kurve“ von $v(t)$ für dieses Intervall berechnen. Für das Intervall von 3–8 s z. B., in dem der Aufzug eine Geschwindigkeit von 4,0 m/s hat, ist die Änderung in x

$$\Delta x = (4,0 \text{ m/s})(8,0 \text{ s} - 3,0 \text{ s}) = +20 \text{ m}.$$

(Diese Fläche ist positiv, da die $v(t)$ -Kurve oberhalb der t -Achse verläuft.) Abbildung Ü1.2a zeigt, dass x in diesem Zeitintervall in der Tat um 20 m zunimmt. Ab-

bildung Ü1.2b verrät uns jedoch nicht, welche *Zahlenwerte* x am Anfang und am Ende des Intervalls einnimmt. Dazu benötigen wir zusätzliche Informationen, wie z. B. den Wert von x zu einem bestimmten Zeitpunkt.

BEISPIELAUFGABE 1.3

Die Position eines Teilchens wird auf der x -Achse von Abb. 1.1 im Lehrbuch durch

$$x = 4 - 27t + t^3$$

gegeben, wobei x in Metern und t in Sekunden gemessen wird.

(a) Ermitteln Sie die Geschwindigkeitsfunktion $v(t)$ und die Beschleunigungsfunktion $a(t)$ des Teilchens.

LÖSUNG: Die **LÖSUNGSIDEE** ist hier, dass wir die Geschwindigkeitsfunktion $v(t)$ aus der Ableitung der Ortsfunktion $x(t)$ nach der Zeit erhalten. Wir finden damit also

$$v = -27 + 3t^2,$$

wobei v in Metern pro Sekunde angegeben wird.

Die zweite **LÖSUNGSIDEE** ist, dass wir die Beschleunigungsfunktion $a(t)$ erhalten, indem wir die Geschwindigkeitsfunktion $v(t)$ nach der Zeit ableiten. Damit ergibt sich

$$a = +6t,$$

wobei a in Metern pro Sekunde zum Quadrat ausgedrückt wird.

(b) Gibt es einen Zeitpunkt, zu dem $v = 0$ ist?

LÖSUNG: Wir setzen $v(t) = 0$ und erhalten

$$0 = -27 + 3t^2.$$

Diese Gleichung hat die folgenden zwei Lösungen

$$t = \pm 3 \text{ s}.$$

Die Geschwindigkeit ist also drei Sekunden vor und drei Sekunden nach dem Zeitpunkt, wenn die Stoppuhr 0 anzeigt, gleich null.

(c) Beschreiben Sie die Bewegung des Teilchens für $t \geq 0$.

LÖSUNG: Die **LÖSUNGSIDEE** ist hier, die Ausdrücke von $x(t)$, $v(t)$ und $a(t)$ genauer zu untersuchen.

Zum Zeitpunkt $t = 0$ befindet sich das Teilchen bei $x(0) = +4 \text{ m}$ und bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von $v(0) = -27 \text{ m/s}$, also in die negative Richtung der x -Achse. Seine Beschleunigung ist $a(0) = 0$, da sich die Geschwindigkeit des Teilchens zu diesem Zeitpunkt nicht ändert.

Für $0 < t < 3 \text{ s}$ besitzt das Teilchen weiterhin eine negative Geschwindigkeit und bewegt sich deshalb weiter in die negative Richtung. Seine Beschleunigung ist jedoch nicht mehr gleich null, sondern positiv und ansteigend. Da die Vorzeichen von Geschwindigkeit und Beschleunigung entgegengesetzt sind, wird das Teilchen langsamer.

Tatsächlich wissen wir schon, dass das Teilchen bei $t = 3 \text{ s}$ vorübergehend anhält. In diesem Moment befindet es sich an dem am weitesten links vom Ursprung der Achse liegenden Punkt, den es auf seinem Weg überhaupt erreichen wird. Setzen wir $t = 3 \text{ s}$ in den Ausdruck von $x(t)$ ein, so finden wir, dass das Teilchen sich zu diesem Zeitpunkt am Ort $x = -50 \text{ m}$ befindet. Seine Beschleunigung ist dabei immer noch positiv.

Für $t > 3 \text{ s}$ bewegt sich das Teilchen auf der Achse nach rechts. Seine Beschleunigung bleibt weiterhin positiv und der Betrag der Beschleunigung wird immer größer. Die Geschwindigkeit ist nun positiv, ihr Betrag nimmt ebenfalls zu.

BEISPIELAUFGABE 1.4

Ein beliebtes Video im Web zeigt ein Wettrennen auf einer Rollbahn zwischen einem Düsenjet, einem Auto und einem Motorrad (Abb. Ü1.3). Zunächst geht das Motorrad in Führung, wird dann aber von dem Düsenjet abgelöst und schließlich auch von dem Auto überholt. Wir wollen uns hier auf das Auto und das Motorrad konzentrieren und sinnvolle Werte annehmen, um ihre Bewegung zu beschreiben. Das Motorrad geht zunächst in Führung, weil seine (konstante) Beschleunigung $a_M = 8,40 \text{ m/s}^2$ größer ist als die (konstante) Beschleunigung $a_A = 5,60 \text{ m/s}^2$ des Autos. Es verliert das Rennen jedoch trotzdem, weil seine Höchstgeschwindigkeit $v_M = 58,8 \text{ m/s}$ beträgt, die des Autos jedoch $v_A = 106 \text{ m/s}$. Wie lange benötigt das Auto, um das Motorrad einzuholen?

LÖSUNGSIDEE Wir können die Gleichungen für die Bewegung unter dem Einfluss einer konstanten Beschleunigung auf beide Fahrzeuge anwenden, müssen dabei aber für das Motorrad in zwei Schritten vorgehen: (1) Zuerst legt es ausgehend von einer Startgeschwindigkeit von null eine Entfernung x_{M1} unter dem Einfluss einer Beschleunigung $a_M = 8,40 \text{ m/s}^2$ zurück und erreicht dabei eine Geschwindigkeit $v_M = 58,8 \text{ m/s}$. (2) Anschließend legt es mit konstanter Geschwindigkeit ($v_M = 58,8 \text{ m/s}$ und ohne Beschleunigung (auch dies ist eine konstante Beschleunigung!)) eine Entfernung x_{M2} zurück. (Wir haben die Entfernungen hier bereits mit Variablen bezeichnet, obwohl wir ihre Werte noch nicht kennen. Diese Vorgehensweise ist oft hilfreich, um physikalische Fragestellungen zu behandeln, auch wenn die Verwendung von Variablen für unbekannte Größen manchmal etwas Mut erfordert!)

LÖSUNG Damit wir Skizzen erstellen und mit dem Rechnen beginnen können, wollen wir annehmen, dass die Fahrzeuge ihr Rennen entlang der positiven Richtung einer x -Achse austragen und dabei zur Zeit $t = 0$ bei $x = 0$ starten. (Natürlich können wir beliebige Startwerte wählen, weil wir uns nur für die verstrichene Zeit interessieren, nicht für eine definierte Uhrzeit z. B. am Nachmittag. Wir wählen die angegebenen Werte, weil sie uns das Rechnen einfacher machen.)

Das Auto soll am Ende das Motorrad überholen, aber was bedeutet das mathematisch? Es bedeutet, dass sich die beiden Fahrzeuge zu einem Zeitpunkt t an derselben Position entlang der x -Achse befinden müssen, dass also die Koordinate x_A des Autos der Koordinate $x_{M1} + x_{M2}$ des Motorrads entsprechen muss. Mathematisch können wir diese Bedingung wie folgt formulieren

$$x_A = x_{M1} + x_{M2} . \quad (\text{Ü1.4})$$

(Wie in vielen physikalischen Aufgabenstellungen ist diese Formulierung des ersten Schritts die größte Herausforderung. Wie kommt man von einer in Worten formulierten Aufgabe auf einen mathematischen Ausdruck? Eines der Ziele dieses Buches ist es, Ihnen diese Fähigkeit zu vermitteln, den Ansatz einer Fragestellung mathematisch auszudrücken. Wie viele Fähigkeiten erfordert auch diese viel Übung!)

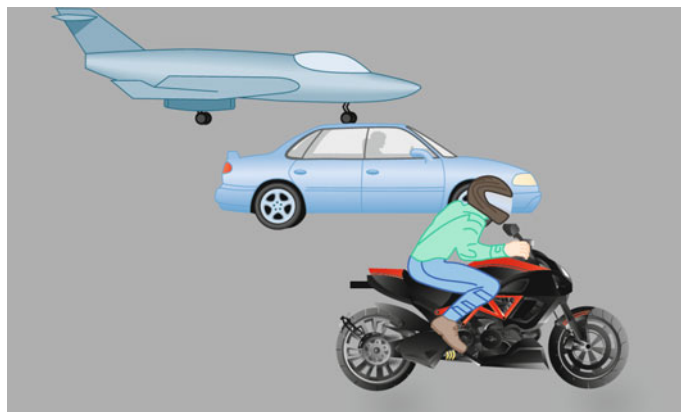


Abb. Ü1.3
Düsenjet, Motorrad und Auto kurz nach dem Start aus dem Stand.

Wir wollen nun beide Seiten von Gl. Ü1.4 ausformulieren, beginnend mit der linken. Um die Stelle x_A zu erreichen, beschleunigt das Auto aus dem Stand. Nach Gl. Ü1.5 ist dann mit $x_0 = v_0 = 0$

$$x - x_0 = v_0 t + at^2/2 \quad (\text{Ü1.5})$$

$$x_A = \frac{1}{2} a_A t^2. \quad (\text{Ü1.6})$$

Um einen Ausdruck für die Entfernung x_{M1} zu erhalten, bestimmen wir zuerst mithilfe von Gl. Ü1.7 die Zeit t_M , nach der das Motorrad seine Maximalgeschwindigkeit v_M erreicht. Wenn wir $v_0 = 0$, $v = v_M = 58,8 \text{ m/s}$ und $a = a_M = 8,40 \text{ m/s}^2$ einsetzen, erhalten wir hierfür

$$t_M = \frac{v_M}{a_M} = \frac{58,8 \text{ m/s}}{8,40 \text{ m/s}^2} = 7,00 \text{ s}. \quad (\text{Ü1.8})$$

Um die Entfernung x_{M1} zu berechnen, die das Motorrad in diesem ersten Abschnitt des Rennens zurücklegt, verwenden wir wieder Gl. Ü1.5 mit $x_0 = 0$ und $v_0 = 0$, setzen jetzt aber die Zeit aus Gl. Ü1.8 ein. So erhalten wir

$$x_{M1} = \frac{1}{2} a_M t_M^2 = \frac{1}{2} a_M \left(\frac{v_M}{a_M} \right)^2 = \frac{1}{2} \frac{v_M^2}{a_M}. \quad (\text{Ü1.9})$$

In der verbleibenden Zeit $t - t_M$ fährt das Motorrad unbeschleunigt mit seiner Maximalgeschwindigkeit. Die Entfernung, die es dabei zurücklegt, erhalten wir wieder aus Gl. Ü1.5, in die wir nun die Geschwindigkeit $v_0 = v_M$ (die Geschwindigkeit am Ende des ersten Rennabschnitts) und die Beschleunigung $a = 0$ einsetzen. Damit erhalten wir für die im zweiten Rennabschnitt zurückgelegte Entfernung

$$x_{M2} = v_M(t - t_M) = v_M(t - 7,00 \text{ s}). \quad (\text{Ü1.10})$$

Um die Rechnung abzuschließen, setzen wir nun die Gln. Ü1.6, Ü1.9 und Ü1.10 in Gl. Ü1.4 ein und erhalten so

$$\frac{1}{2} a_A t^2 = \frac{1}{2} \frac{v_M^2}{a_M} + v_M(t - 7,00 \text{ s}). \quad (\text{Ü1.11})$$

Das ist eine quadratische Gleichung, die wir nach Einsetzen der Zahlenwerte mit der üblichen Formel für quadratische Gleichungen lösen. So erhalten wir $t = 4,44 \text{ s}$ und $t = 16,6 \text{ s}$. Aber warum erhalten wir zwei Lösungen? Überholt das Auto das Motorrad etwa zweimal? Natürlich nicht, wie wir schon im Video sehen können. Des Rätsels Lösung: Eine der Antworten ist zwar mathematisch korrekt, aber physikalisch sinnlos. Da wir bereits herausgefunden haben, dass das Auto das Motorrad erst überholt, nachdem dieses zur Zeit $t = 7,00 \text{ s}$ seine Maximalgeschwindigkeit erreicht hat, können wir die Antwort mit $t < 7,00 \text{ s}$ als unphysikalisch verwerfen. Der Überholvorgang findet folglich bei $t = 16,6 \text{ s}$ statt.

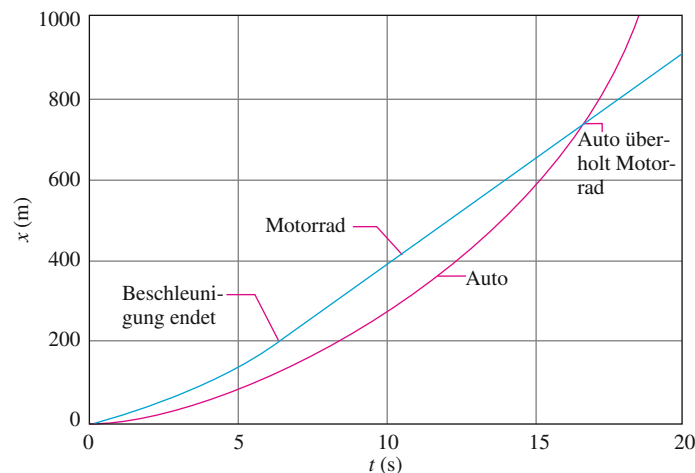


Abb. Ü1.4

Auftragung der Positionen von Auto und Motorrad gegen die Zeit.

Abbildung Ü1.4 zeigt die Auftragung der Positionen beider Fahrzeuge gegen die Zeit; der Moment des Überholens ist markiert. Man erkennt gut, dass die Kurve für das Motorrad zur Zeit $t = 7,00$ s von gekrümmt (wegen der steigenden Geschwindigkeit) zu gerade wechselt (weil die Geschwindigkeit ab diesem Zeitpunkt konstant bleibt).

In Abb. Ü1.5 wirft ein Baseballwerfer einen Ball entlang einer y -Achse mit einer Anfangsgeschwindigkeit von 12 m/s nach oben.

BEISPIELAUFGABE 1.5

(a) Wie lange braucht der Ball, um seine maximale Höhe zu erreichen?

LÖSUNG: Die **LÖSUNGSIDEE** ist hier, dass der Ball zwischen dem Loslassen und dem Auffangen nur der Erdbeschleunigung $a = -g$ ausgesetzt ist. Da diese konstant ist, gelten die Gleichungen aus Tab. 1.1 im Lehrbuch. Ein weiterer Schlüsseldanke ist, dass die Geschwindigkeit am höchsten Punkt der Flugbahn null sein muss. Da wir v , a und die Anfangsgeschwindigkeit $v_0 = 12$ m/s kennen und t suchen, lösen wir also Gl. Ü1.7, da sie all diese vier Variablen enthält. Durch Umformen ergibt sich

$$t = \frac{v - v_0}{a} = \frac{0 - 12 \text{ m/s}}{-9,8 \text{ m/s}^2} = 1,2 \text{ s}.$$

(b) Wie groß ist die maximale Höhe des Balls über seinem Ausgangspunkt?

LÖSUNG: Wir können den Ausgangspunkt des Balls gleich $y_0 = 0$ setzen. Damit schreiben wir Gl. Ü1.12 in y -Schreibweise um, setzen bei maximaler Höhe $y - y_0 = y$ und $v = 0$ und lösen nach y auf. Wir erhalten so

$$y = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} = \frac{0 - (12 \text{ m/s})^2}{2(-9,8 \text{ m/s}^2)} = 7,3 \text{ m}.$$

(c) Wie lange braucht der Ball, um einen Punkt zu erreichen, der 5,0 m über seinem Ausgangspunkt liegt?

LÖSUNG: Wir kennen v_0 , $a = -g$ und die Verschiebung $y - y_0 = 5,0$ m; wir suchen t . Also wählen wir Gl. Ü1.5. Nachdem wir sie in y umgeschrieben und $y_0 = 0$ gesetzt haben, erhalten wir

$$y = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$$

oder

$$5,0 \text{ m} = (12 \text{ m/s})t - \left(\frac{1}{2}\right)(9,8 \text{ m/s}^2)t^2.$$

Lassen wir die Einheiten vorläufig weg – nachdem wir festgestellt haben, dass sie konsistent sind, können wir dies umschreiben in

$$4,9t^2 - 12t + 5,0 = 0.$$

Auflösen dieser quadratischen Gleichung nach t ergibt

$$t = 0,53 \text{ s} \quad \text{und} \quad t = 1,9 \text{ s}.$$

Offensichtlich gibt es zwei derartige Zeiten! Dies ist nicht wirklich verwunderlich, da der Ball zweimal am Ort $y = 5,0$ m vorbeikommt – einmal auf seinem Weg nach oben und einmal auf seinem Weg nach unten.

$$(\text{Ü1.12}) \quad v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$$

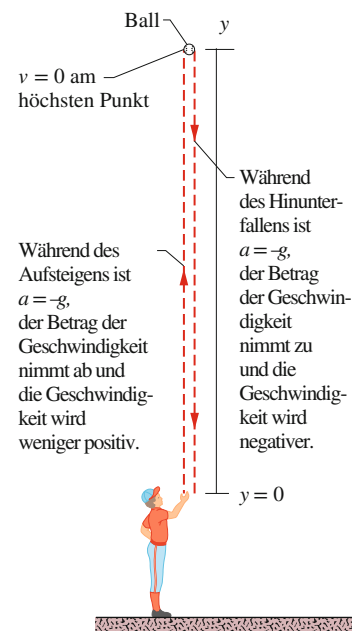


Abb. Ü1.5

Ein Baseballwerfer wirft einen Ball senkrecht nach oben. Unter der Voraussetzung, dass der Luftwiderstand vernachlässigt werden kann, gelten die Gleichungen für den freien Fall sowohl für aufsteigende als auch für nach unten fallende Objekte.

BEISPIELAUFGABE 1.6

Ein Auto fährt auf einer zum Parken freigegebenen Fläche, bei der zur genauen Angabe der Parkplätze ein Koordinatensystem aufgemalt wurde. Die Koordinaten des Pkw-Mittelpunkts werden durch die Gleichungen

$$x = -0,31t^2 + 7,2t + 28 \quad (\ddot{U}1.13)$$

und

$$y = 0,22t^2 - 9,1t + 30 \quad (\ddot{U}1.14)$$

angegeben, wobei t in Sekunden und x und y in Metern gemessen werden.

(a) FRAGE: Wie lautet der Ortsvektor $\vec{r}$ des Autos zum Zeitpunkt $t = 15$ s in Einheitsvektoren- bzw. Betrag-Winkel-Schreibweise (vgl. Gl. D.6 in Anhang D im Lehrbuch)?

LÖSUNG: Die **LÖSUNGSDIEE** ist hier, dass die x - und y -Koordinaten, wie sie in den Gln. $\ddot{U}1.13$ und $\ddot{U}1.14$ angegeben sind, gleichzeitig die skalaren Komponenten des Ortsvektors $\vec{r}$ des Autos darstellen. Also ist

$$\vec{r}(t) = x(t)\vec{e}_x + y(t)\vec{e}_y. \quad (\ddot{U}1.15)$$

(Wir schreiben hier $\vec{r}(t)$ anstelle von $\vec{r}$, da die Komponenten Funktionen von t sind und der Vektor $\vec{r}$ damit ebenso eine Funktion von t ist.)

Zum Zeitpunkt $t = 15$ s sind die skalaren Komponenten

$$x = (-0,31)(15)^2 + (7,2)(15) + 28 = 66 \text{ m}$$

und

$$y = (0,22)(15)^2 + (-9,1)(15) + 30 = -57 \text{ m}.$$

Zur Zeit $t = 15$ s ist also

$$\vec{r} = (66 \text{ m})\vec{e}_x - (57 \text{ m})\vec{e}_y.$$

Dieser Vektor ist in Abb. $\ddot{U}1.6a$ dargestellt.

Um den Betrag und den Winkel von $\vec{r}$ zu ermitteln, können wir entweder einen vektorfähigen Taschenrechner benutzen oder aber Gl. $\ddot{U}1.16$ ausnutzen, was auf

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{(66 \text{ m})^2 + (-57 \text{ m})^2} = 87 \text{ m}$$

und

$$\theta = \tan^{-1} \frac{y}{x} = \tan^{-1} \left(\frac{-57 \text{ m}}{66 \text{ m}} \right) = -41^\circ.$$

führt. (Obwohl $\theta = 139^\circ$ denselben Tangens besitzt wie -41° , können wir 139° als Lösung ausschließen, wenn wir die Vorzeichen der Komponenten von $\vec{r}$ berücksichtigen.)

(b) FRAGE: Zeichnen Sie die Bahnkurve des Autos von $t = 0$ bis $t = 25$ s.

LÖSUNG: Wir können hier Teil (a) für verschiedene Werte von t wiederholen und diese Ergebnisse auftragen. Abbildung $\ddot{U}1.6b$ zeigt entsprechende Punkte für fünf verschiedene Zeiten sowie die Kurve, die diese Punkte verbindet. Wir können auch einen grafikfähigen Taschenrechner benutzen, um eine Parameterkurve zu erstellen: Das heißt, wir lassen den Taschenrechner y in Abhängigkeit von x auftragen, wobei diese Koordinaten als Funktionen von t durch die Gln. $\ddot{U}1.13$ und $\ddot{U}1.14$ gegeben sind.

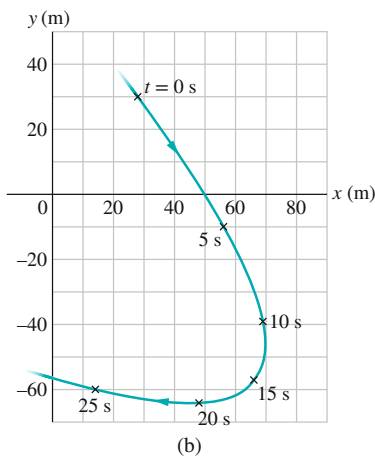
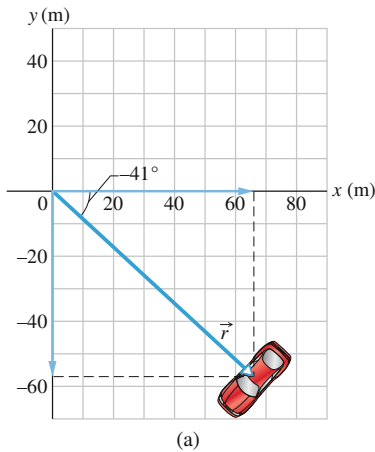


Abb. $\ddot{U}1.6$

(a) Der Ortsvektor $\vec{r}$ eines Autos zur Zeit $t = 15$ s. Die skalaren Komponenten von $\vec{r}$ sind entlang der jeweiligen Achsen eingezeichnet. (b) Die Bahnkurve des Autos und seine Position zu fünf verschiedenen Zeiten t .

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} \quad (\ddot{U}1.16)$$

$$\tan \theta = \frac{a_y}{a_x}$$

Bestimmen Sie die Geschwindigkeit $\vec{v}$ für das Auto aus Beispielaufgabe 1.6 zur Zeit $t = 15$ s sowohl in Einheitsvektoren-Schreibweise als auch mit Betrag und Winkel.

LÖSUNG: Hier gibt es zwei **LÖSUNGSIDEEN:** (1) Wir können die Geschwindigkeit des Autos ermitteln, indem wir zunächst die Komponenten der Geschwindigkeit bestimmen. (2) Diese Komponenten können wir herausfinden, indem wir die Komponenten des Pkw-Ortsvektors nach der Zeit ableiten. Wenden wir die erste Gleichung von Gl. Ü1.17 auf Gl. Ü1.13 an, so erhalten wir die x -Komponente von $\vec{v}$

$$v_x = \frac{dx}{dt} = \frac{d}{dt}(-0,31t^2 + 7,2t + 28) = -0,62t + 7,2. \quad (\text{Ü1.18})$$

Zur Zeit $t = 15$ s ergibt dies $v_x = -2,1$ m/s. Indem wir die zweite Gleichung von Gl. Ü1.17 auf Gl. Ü1.14 anwenden, erhalten wir analog die y -Komponente

$$v_y = \frac{dy}{dt} = \frac{d}{dt}(0,22t^2 - 9,1t + 30) = 0,44t - 9,1. \quad (\text{Ü1.19})$$

Zur Zeit $t = 15$ s ergibt dies $v_y = -2,5$ m/s. In Einheitsvektoren-Schreibweise erhalten wir dann schließlich

$$\vec{v} = -(2,1 \text{ m/s})\vec{e}_x - (2,5 \text{ m/s})\vec{e}_y.$$

Diese Geschwindigkeit ist in Abb. Ü1.7 dargestellt. Sie verläuft tangential zur Bahn des Autos und zeigt daher in die Richtung, in die das Auto zum Zeitpunkt $t = 15$ s fährt.

Um den Betrag und den Winkel von $\vec{v}$ zu bestimmen, können wir entweder einen vektorfähigen Taschenrechner benutzen oder wir berechnen beide Werte mithilfe von Gl. Ü1.16

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{(-2,1 \text{ m/s})^2 + (-2,5 \text{ m/s})^2} = 3,3 \text{ m/s}$$

und

$$\theta = \tan^{-1} \frac{v_y}{v_x} = \tan^{-1} \left(\frac{-2,5 \text{ m/s}}{-2,1 \text{ m/s}} \right) = \tan^{-1} 1,19 = -130^\circ.$$

(Obwohl 50° denselben Tangens besitzt wie -130° , zeigt die Betrachtung der Vorzeichen der Geschwindigkeitskomponenten, dass der gesuchte Winkel im dritten Quadranten liegt und durch $50^\circ - 180^\circ = -130^\circ$ gegeben ist.)

Bestimmen Sie die Beschleunigung $\vec{a}$ für das Auto aus den Beispielaufgaben 1.6 und 1.7 zur Zeit $t = 15$ s in Einheitsvektoren- und Betrag-Winkel-Schreibweise (vgl. Anhang D im Lehrbuch).

LÖSUNG: Hier gibt es zwei **LÖSUNGSIDEEN:** (1) Wir können die Beschleunigung $\vec{a}$ des Autos ermitteln, indem wir zuerst die Komponenten der Beschleunigung bestimmen. (2) Diese Komponenten können wir berechnen, indem wir die Geschwindigkeitskomponenten des Autos nach der Zeit ableiten. Wenden wir die erste Gleichung von Gl. Ü1.20 auf Gl. Ü1.18 an, so erhalten wir die x -Komponente von $\vec{a}$

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d}{dt}(-0,62t + 7,2) = -0,62 \text{ m/s}^2.$$

Analog ergibt sich die y -Komponente, indem wir die zweite Gleichung von Gl. Ü1.20 auf Gl. Ü1.19 anwenden

$$a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d}{dt}(0,44t - 9,1) = 0,44 \text{ m/s}^2.$$

Wie man sieht, hängt die Beschleunigung nicht von der Zeit ab (sie ist konstant), da die Zeitvariable t in keiner der beiden Beschleunigungskomponenten vorkommt.

BEISPIELAUFGABE 1.7

$$\begin{aligned} v_x &= \frac{dx}{dt}, \\ (\text{Ü1.17}) \quad v_y &= \frac{dy}{dt}, \\ v_z &= \frac{dz}{dt} \end{aligned}$$

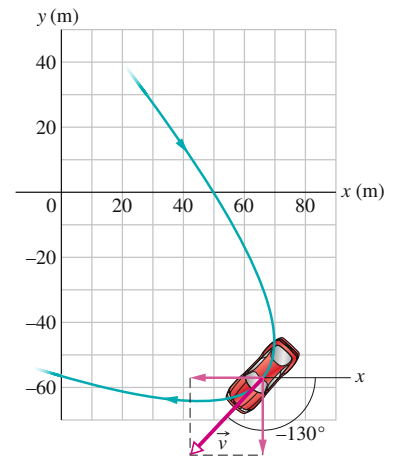


Abb. Ü1.7

Die Geschwindigkeit $\vec{v}$ des Autos bei $t = 15$ s. Der Geschwindigkeitsvektor verläuft tangential zur Bahnkurve am momentanen Ort des Autos. Die skalaren Komponenten von $\vec{v}$ sind ebenfalls eingezeichnet.

BEISPIELAUFGABE 1.8

$$\begin{aligned} a_x &= \frac{dv_x}{dt}, \\ (\text{Ü1.20}) \quad a_y &= \frac{dv_y}{dt}, \\ a_z &= \frac{dv_z}{dt} \end{aligned}$$

$$\vec{a} = a_x \vec{e}_x + a_y \vec{e}_y + a_z \vec{e}_z \quad (\text{Ü1.21})$$

Gleichung Ü1.21 liefert dann

$$\vec{a} = (-0,62 \text{ m/s}^2) \vec{e}_x + (0,44 \text{ m/s}^2) \vec{e}_y.$$

Die Beschleunigung ist in Abb. Ü1.8 auf der Bahnkurve des Autos eingezeichnet.

Um den Betrag und den Winkel von $\vec{a}$ zu ermitteln, benutzen wir entweder einen vektorfähigen Taschenrechner oder Gl. Ü1.16. Für den Betrag ergibt sich damit

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = \sqrt{(-0,62 \text{ m/s}^2)^2 + (0,44 \text{ m/s}^2)^2} = 0,76 \text{ m/s}^2,$$

für den Winkel erhalten wir

$$\theta = \tan^{-1} \frac{a_y}{a_x} = \tan^{-1} \left(\frac{0,44 \text{ m/s}^2}{-0,62 \text{ m/s}^2} \right) = -35^\circ.$$

Dieses letzte Ergebnis, das der Taschenrechner liefert, bedeutet, dass $\vec{a}$ in Abb. Ü1.8 nach rechts unten gerichtet sein muss. Wir wissen jedoch aus den oben genannten Komponenten, dass $\vec{a}$ tatsächlich nach links oben zeigen sollte. Um einen zweiten Winkel zu finden, der denselben Tangens besitzt wie -35° , aber von unserem Taschenrechner nicht angezeigt wird, addieren wir 180°

$$-35^\circ + 180^\circ = 145^\circ.$$

Dieser Winkel passt nun zu den Komponenten von $\vec{a}$. Beachten Sie, dass $\vec{a}$ während der gesamten Fahrt denselben Betrag und dieselbe Richtung aufweist, da die Beschleunigung, wie wir bereits zuvor festgestellt hatten, konstant ist.

BEISPIELAUFGABE 1.9

Abbildung Ü1.9 zeigt ein Rettungsflugzeug, das mit einer Geschwindigkeit von $55,0 \text{ m/s}$ in einer konstanten Höhe von 500 m auf einen Punkt zufliegt, der direkt oberhalb eines im Wasser schwimmenden Schiffbrüchigen liegt. Der Pilot möchte eine Rettungskapsel so abwerfen, dass sie möglichst nahe bei dem Schiffbrüchigen auftrifft.

(a) Wie groß sollte der Winkel φ der Sichtlinie zwischen dem Piloten und dem Schiffbrüchigen in dem Moment sein, in dem der Pilot die Kapsel abwirft?

LÖSUNG: Die **LÖSUNGSIDEE** ist hier, dass wir die abgeworfene Kapsel als ein Projektil betrachten. Dies bedeutet, dass ihre horizontale und ihre vertikale Bewegung unabhängig sind und getrennt untersucht werden können (die gekrümmte Bahn, die die Kapsel tatsächlich beschreibt, brauchen wir nicht zu bestimmen). Abbildung Ü1.9 beinhaltet ein Koordinatensystem, dessen Ursprung am Abwurfspunkt liegt. Anhand des Koordinatensystems können wir erkennen, dass der Winkel φ durch

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{x}{h} \quad (\text{Ü1.22})$$

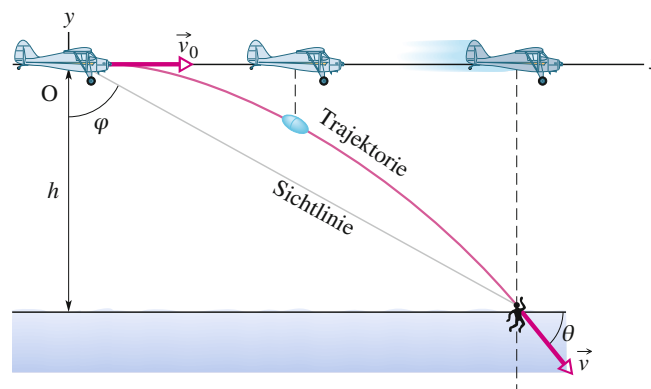


Abb. Ü1.9

Ein Flugzeug wirft eine Rettungskapsel ab; dabei fliegt es mit konstanter Geschwindigkeit in horizontaler Richtung. Während des Falls bleibt die horizontale Geschwindigkeitskomponente der Kapsel konstant gleich der Geschwindigkeit des Flugzeugs.

gegeben ist, wobei x die horizontale Koordinate des Schiffbrüchigen zum Zeitpunkt des Abwurfs angibt (und damit auch die Koordinate der Kapsel in dem Moment, in dem sie das Wasser berührt) und h die Flughöhe des Flugzeugs bezeichnet. Diese Höhe ist gleich 500 m; also benötigen wir nur noch x , um φ ermitteln zu können. x sollten wir anhand von Gl. Ü1.23 herausfinden können

$$(\text{Ü1.23}) \quad x - x_0 = (v_0 \cos \theta_0)t$$

$$x - x_0 = (v_0 \cos \theta_0)t. \quad (\text{Ü1.24})$$

Wir wissen, dass $x_0 = 0$ ist, da der Ursprung des Koordinatensystems auf den Abwurfpunkt gelegt wurde. Da die Kapsel nur fallen gelassen und nicht abgeschossen wird, ist ihre Anfangsgeschwindigkeit $\vec{v}_0$ gleich der Geschwindigkeit des Flugzeugs. Also wissen wir ebenfalls, dass die Anfangsgeschwindigkeit einen Betrag von $v_0 = 55,0 \text{ m/s}$ und einen Winkel von $\theta_0 = 0^\circ$ (relativ zur positiven Richtung der x -Achse) besitzt. Wir kennen jedoch die Zeit t nicht, welche die Kapsel vom Flugzeug bis zum Schiffbrüchigen braucht.

Um t zu bestimmen, betrachten wir zunächst die senkrechte Bewegung und dabei speziell Gl. Ü1.25

$$(\text{Ü1.25}) \quad \begin{aligned} y - y_0 &= v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2 \\ &= (v_0 \sin \theta_0)t - \frac{1}{2}gt^2 \end{aligned}$$

$$y - y_0 = (v_0 \sin \theta_0)t - \frac{1}{2}gt^2. \quad (\text{Ü1.26})$$

Hier ist die vertikale Verschiebung $y - y_0$ der Kapsel gleich -500 m (das negative Vorzeichen zeigt an, dass die Kapsel sich nach unten bewegt). Einsetzen der bekannten Werte in Gl. Ü1.26 ergibt dann

$$-500 \text{ m} = (55,0 \text{ m/s})(\sin 0^\circ)t - \frac{1}{2}(9,8 \text{ m/s}^2)t^2.$$

Indem wir nach t auflösen, erhalten wir $t = 10,1 \text{ s}$. Einsetzen in Gl. Ü1.24 liefert nun

$$x - 0 = (55,0 \text{ m/s})(\cos 0^\circ)(10,1 \text{ s})$$

beziehungsweise

$$x = 555,5 \text{ m}.$$

Damit erhalten wir mit Gl. Ü1.22 das Ergebnis

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{555,5 \text{ m}}{500 \text{ m}} = 48^\circ.$$

(b) Wie lautet die Geschwindigkeit $\vec{v}$ der Kapsel in dem Moment, in dem die Kapsel im Wasser auftrifft, in Einheitsvektoren- bzw. Betrag-Winkel-Schreibweise (vgl. Anhang D im Lehrbuch)?

LÖSUNG: Auch hier hilft uns die **LÖSUNGSEIDEE**, dass die horizontale und die vertikale Bewegung der Kapsel während des Falls voneinander unabhängig sind. Insbesondere sind die horizontale und die vertikale Komponente der Geschwindigkeit der Kapsel voneinander unabhängig.

Die zweite **LÖSUNGSEIDEE** ist, dass sich die waagerechte Komponente der Geschwindigkeit v_x nicht verändert, sondern konstant gleich ihrem Anfangswert $v_{0x} = v_0 \cos \theta_0$ ist, da die Kapsel keiner horizontalen Beschleunigung unterliegt. In dem Moment, in dem die Kapsel die Wasseroberfläche erreicht, ist also

$$v_x = v_0 \cos \theta_0 = (55,0 \text{ m/s})(\cos 0^\circ) = 55,0 \text{ m/s}.$$

Eine dritte **LÖSUNGSEIDEE** ist, dass sich die vertikale Komponente der Geschwindigkeit v_y verändert und nicht gleich ihrem Anfangswert $v_{0y} = v_0 \sin \theta_0$ bleibt, da die Kapsel einer senkrechten Beschleunigung unterliegt. Nutzen wir Gl. Ü1.27 und

$$(\text{Ü1.27}) \quad v_y = v_0 \sin \theta_0 - gt$$

die bekannte Fallzeit $t = 10,1 \text{ s}$ der Kapsel, so erhalten wir für den Augenblick, in dem die Kapsel die Wasseroberfläche erreicht,

$$\begin{aligned} v_y &= v_0 \sin \theta_0 - gt \\ &= (55,0 \text{ m/s})(\sin 0^\circ) - (9,8 \text{ m/s}^2)(10,1 \text{ s}) = -99,0 \text{ m/s} . \end{aligned}$$

Zu dem Zeitpunkt, zu dem die Kapsel das Wasser erreicht, besitzt sie also die Geschwindigkeit

$$\vec{v} = (55,0 \text{ m/s})\vec{e}_x - (99,0 \text{ m/s})\vec{e}_y .$$

Mithilfe der Gl. Ü1.16 bzw. eines vektorfähigen Taschenrechners erhalten wir für den Betrag und den Winkel von $\vec{v}$

$$v = 113 \text{ m/s} \quad \text{und} \quad \theta = -61^\circ .$$

BEISPIELAUFGABE 1.10

Ein dramatisches (aber komplett fiktives) Webvideo zeigt einen Mann, wie er eine lange Wasserrutsche hinunterrutscht, dann in die Luft geschleudert wird und schließlich in einem Wasserbecken landet. Wir wollen einen solchen Flug auf der Grundlage sinnvoller Annahmen untersuchen, um herauszufinden, mit welcher Geschwindigkeit der Mann auf dem Wasser aufschlagen würde. Abbildung Ü1.10a zeigt die Startrampe und die Landestelle sowie ein Koordinatensystem, dessen Ursprung wir bequemerweise auf die Startrampe gelegt haben. Auf dem Video können wir die horizontale Flugstrecke zu $D = 20,0 \text{ m}$ sowie die Flugdauer zu $t = 2,50 \text{ s}$ abschätzen; der Abflugwinkel beträgt $\theta_0 = 40,0^\circ$. Welchen Betrag hat die Geschwindigkeit des Manns beim Start und bei der Landung?

LÖSUNG: Die **LÖSUNGSIDEE** ist hier, dass wir die Gleichungen für Bewegungen mit konstanter Beschleunigung separat auf die horizontale und die vertikale Komponente des Flugs anwenden können. Die vertikale Beschleunigung ist während des gesamten Flugs $a_y = -g = -9,8 \text{ m/s}^2$, während die horizontale Beschleunigung durchgehend null ist.

Wie bei den meisten Analysen von Flugbahnen ist die entscheidende Frage: Wo beginnen? Es spricht nichts dagegen, verschiedene Gleichungen auszuprobieren, um zu sehen, ob wir irgendwie auf die Geschwindigkeiten kommen. Und in diesem Fall haben wir sogar einen Hinweis: Da wir die Gleichungen separat für die vertikale und die horizontale Bewegung anwenden wollen, sollten wir versuchen, auch die horizontalen und vertikalen Komponenten der Geschwindigkeit bei Start und Landung separat zu finden. Anschließend können wir für beide Stellen die zusammengehörenden Komponenten kombinieren, um die Geschwindigkeit zu erhalten.

Da wir die horizontale Verschiebung $D = 20,0 \text{ m}$ kennen, wollen wir mit der horizontalen Bewegung beginnen. Weil $a_x = 0$ ist, wissen wir, dass die horizontale

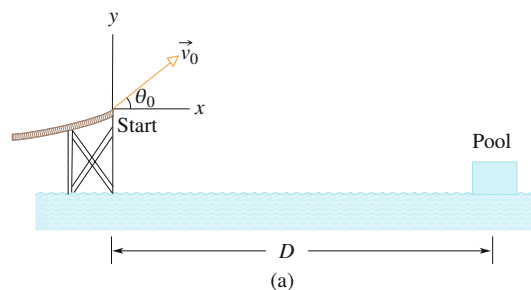
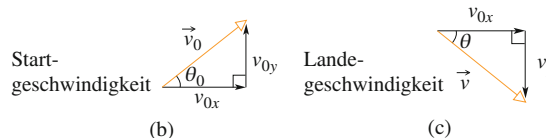


Abb. Ü1.10

- (a) Die Wasserrutsche mit Rampe für den Start und der Pool für die Landung. (b) Geschwindigkeitsvektor beim Start und (c) bei der Landung.



Komponente der Geschwindigkeit während des Flugs unverändert bleibt, also immer gleich der horizontalen Komponente v_{0x} beim Start ist. Diese Komponente, die Flugdauer $t = 2,50 \text{ s}$ und die horizontale Verschiebung $x - x_0$ können wir mithilfe von Gl. Ü1.5 miteinander verknüpfen

$$x - x_0 = v_{0x}t + \frac{1}{2}a_x t^2.$$

Wenn wir hier $a_x = 0$ einsetzen, erhalten wir Gl. Ü1.23. Mit $x - x_0 = D$ bekommen wir dann

$$\begin{aligned} 20 \text{ m} &= v_{0x}(2,50 \text{ s}) + \frac{1}{2}(0)(2,50 \text{ s})^2, \\ v_{0x} &= 8,00 \text{ m/s}. \end{aligned}$$

Dies ist die x -Komponente der Anfangsgeschwindigkeit, wir benötigen aber den Betrag des vollständigen Vektors, wie Abb. Ü1.10b zeigt, in der die beiden Komponenten die Schenkel eines rechtwinkligen Dreiecks bilden, dessen Hypotenuse der vollständige Vektor ist. Wir können also eine trigonometrische Beziehung nutzen, um den Betrag der vollen Geschwindigkeit beim Start herauszufinden

$$\cos \theta_0 = \frac{v_{0x}}{v_0},$$

wir erhalten

$$\begin{aligned} v_0 &= \frac{v_{0x}}{\cos \theta_0} \\ &= \frac{8,00 \text{ m/s}}{\cos 40^\circ} = 10,44 \text{ m/s} \approx 10,4 \text{ m/s}. \end{aligned}$$

Nun wollen wir den Betrag der Geschwindigkeit bei der Landung herausfinden. Die horizontale Komponente kennen wir bereits, da sich ihr anfänglicher Wert von $8,00 \text{ m/s}$ nicht verändert. Um die vertikale Komponente v_y zu bestimmen, schreiben wir Gl. Ü1.7 in der Form

$$v_y = v_{0y} + a_y t$$

und unter Verwendung von Abb. Ü1.10b

$$v_y = v_0 \sin \theta_0 + a_y t.$$

Dann setzen wir $t = 2,50 \text{ s}$ und $a_y = -g = -9,8 \text{ m/s}^2$ ein und bekommen

$$\begin{aligned} v_y &= (10,44 \text{ m/s}) \sin(40,0^\circ) - (9,8 \text{ m/s}^2)(2,50 \text{ s}) \\ &= -17,78 \text{ m/s}. \end{aligned}$$

Nachdem wir nun beide Komponenten der Landegeschwindigkeit kennen, verwenden wir die Gl. Ü1.16, um ihren Betrag zu berechnen

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \\ &= \sqrt{(8,00 \text{ m/s})^2 + (-17,78 \text{ m/s})^2} \\ &= 19,49 \text{ m/s} \approx 19,5 \text{ m/s}. \end{aligned}$$

Die Piloten von Kampffjets müssen darauf achten, Kurven nicht zu eng zu fliegen, denn wenn ihr Körper mit dem Kopf in Richtung Kurvenmittelpunkt einer Zentripetalbeschleunigung ausgesetzt ist, nimmt der Blutdruck im Gehirn ab, was zu einer Beeinträchtigung der Gehirnfunktionen führen kann.

BEISPIELAUFGABE 1.11

Verschiedene Warnsignale vermitteln dem Piloten, wann die Situation kritisch zu werden droht. Bei einer Zentripetalbeschleunigung von $2g$ oder $3g$ fühlt sich der Pilot schwer. Bei ungefähr $4g$ verliert er die Fähigkeit, Farben zu sehen, und sein Sichtfeld reduziert sich auf den sogenannten „Tunnelblick“. Wird diese Beschleunigung beibehalten oder noch verstärkt, verliert der Pilot das Sehvermögen vollständig und wird kurze Zeit später ohnmächtig.

(a) Wie groß ist die Zentripetalbeschleunigung (in Einheiten von g) eines Piloten, der ein Flugzeug mit einer Geschwindigkeit $\vec{v}_A = (400\vec{e}_x + 500\vec{e}_y)$ m/s in einen Kreisbogen fliegt und diesen 24,0 s später mit der Geschwindigkeit $\vec{v}_E = (-400\vec{e}_x - 500\vec{e}_y)$ m/s wieder verlässt?

LÖSUNG: Die **LÖSUNGSIDEE** ist hier, dass es sich um eine gleichförmige Kreisbewegung handelt. Der Pilot spürt daher eine Zentripetalbeschleunigung mit einem Betrag $a = v^2/R$, wobei R der Radius des Kreises ist. Die Zeit für einen vollständigen Umlauf ist nach Gl. Ü1.28 $T = 2\pi R/v$. Da wir den Radius R nicht kennen, lösen wir Gl. Ü1.28 nach R auf und setzen in Gl. Ü1.29 ein. So erhalten wir

$$T = \frac{2\pi r}{v} \quad (\text{Ü1.28})$$

$$a = \frac{v^2}{r} \quad (\text{Ü1.29}) \qquad a = \frac{2\pi v}{T} .$$

Um die konstante Geschwindigkeit v zu bekommen, verwenden wir die Gl. Ü1.16

$$v = \sqrt{(400 \text{ m/s})^2 + (500 \text{ m/s})^2} = 640,31 \text{ m/s} .$$

Die Periode T erhalten wir nun, indem wir uns klarmachen, dass die Endgeschwindigkeit des Flugzeugs gerade die Umkehrung der Anfangsgeschwindigkeit ist. Mit anderen Worten, das Flugzeug verlässt den Kreis nach genau einer halben Runde und fliegt in einer der ursprünglichen Flugrichtung entgegengesetzten Richtung zurück. Dafür hat er 24,0 s benötigt, für einen vollen Umlauf bräuchte es folglich 48,0 s. Wenn wir das in unsere Gleichung für a einsetzen, erhalten wir

$$a = \frac{2\pi(640,31 \text{ m/s})}{48,0 \text{ s}} = 83,81 \text{ m/s}^2 \approx 8,6g .$$

BEISPIELAUFGABE 1.12

Für die in Abb. 1.19 im Lehrbuch dargestellte Situation sei Barbaras Geschwindigkeit relativ zu Alex konstant $v = 52 \text{ km/h}$. Das Auto P bewege sich in die negative Richtung der x -Achse.

(a) Alex misst für das Auto P eine konstante Geschwindigkeit $v_{PA} = -78 \text{ km/h}$. Welche Geschwindigkeit misst Barbara?

LÖSUNG: Die **LÖSUNGSIDEE** ist hier, dass wir Alex das Bezugssystem A und Barbara ein anderes Bezugssystem B zuweisen. Da sich diese Bezugssysteme relativ zueinander mit konstanter Geschwindigkeit entlang der gleichen Achse bewegen, können wir Gl. Ü1.30 benutzen, um v_{PB} und v_{PA} miteinander zu verknüpfen. Wir erhalten

$$v_{PA} = v_{PB} + v_{BA} \quad (\text{Ü1.30})$$

$$-78 \text{ km/h} = v_{PB} + 52 \text{ km/h} ,$$

folglich ist

$$v_{PB} = -130 \text{ km/h} .$$

(b) Das Auto bremst relativ zu Alex (und damit zum Erdboden) und hält nach $t = 10 \text{ s}$ bei konstanter Beschleunigung an. Wie groß ist seine Beschleunigung a_{PA} relativ zu Alex?

LÖSUNG: Die **LÖSUNGSIDEE** ist hier, dass wir die Geschwindigkeiten des Autos P *relativ zu Alex* verwenden müssen, um die Beschleunigung des Autos *relativ zu Alex* herauszufinden. Da die Beschleunigung konstant ist, können wir Gl. Ü1.7

($v = v_0 + at$) benutzen, um die Beschleunigung mit der Anfangs- und Endgeschwindigkeit von P in Verbindung zu bringen. Die Anfangsgeschwindigkeit von P relativ zu Alex ist $v_{PA} = -78 \text{ km/h}$, die Endgeschwindigkeit ist null. Damit erhalten wir die Beschleunigung

$$a_{PA} = \frac{v - v_0}{t} = \frac{0 - (-78 \text{ km/h})}{10 \text{ s}} \cdot \frac{1 \text{ m/s}}{3,6 \text{ km/h}} = 2,2 \text{ m/s}^2.$$

(c) Wie groß ist die Beschleunigung a_{PA} des Autos relativ zu Barbara während des Bremsvorgangs?

LÖSUNG: Hier ist die **LÖSUNGSIDEE**, dass wir die Geschwindigkeiten des Autos P *relativ zu Barbara* verwenden müssen, um die Beschleunigung des Autos *relativ zu Barbara* zu ermitteln. Wir kennen die Anfangsgeschwindigkeit von P relativ zu Barbara aus Teil (a) ($v_{PB} = -130 \text{ km/h}$). Die Endgeschwindigkeit von P relativ zu Barbara ist -52 km/h (dies entspricht der Geschwindigkeit des haltenden Fahrzeugs relativ zu der sich bewegenden Barbara). Also erhalten wir hier ebenfalls die Beschleunigung

$$a_{PB} = \frac{v - v_0}{t} = \frac{-52 \text{ km/h} - (-130 \text{ km/h})}{10 \text{ s}} \cdot \frac{1 \text{ m/s}}{3,6 \text{ km/h}} = 2,2 \text{ m/s}^2.$$

Dieses Ergebnis hätten wir voraussagen können: Da sich Alex und Barbara relativ zueinander mit einer konstanten Geschwindigkeit bewegen, müssen sie für das Auto beide die gleiche Beschleunigung messen.

Das in Abb. Ü1.11a dargestellte Flugzeug bewegt sich nach Osten. Aufgrund eines gleichmäßigen Nordostwinds muss der Pilot das Flugzeug jedoch leicht nach Süden einstellen. Relativ zum Wind besitzt das Flugzeug die Fluggeschwindigkeit $\vec{v}_{PW}$ mit einem Betrag von 215 km/h und einem Winkel θ südlich der östlichen Richtung. Der Wind hat relativ zum Erdboden die Geschwindigkeit $\vec{v}_{WG}$ mit einem Betrag von $65,0 \text{ km/h}$ und einem Winkel von 20° östlich von Norden. Wie groß sind der Betrag der Geschwindigkeit $\vec{v}_{PG}$ des Flugzeugs relativ zum Erdboden und der Winkel θ ?

BEISPIELAUFGABE 1.13

LÖSUNG: Die **LÖSUNGSIDEE** ist hier, dass die gegebene Situation derjenigen aus Abb. 1.20 im Lehrbuch entspricht. Das bewegte Teilchen P entspricht dem Flugzeug, das Bezugssystem A ist am Erdboden angebracht (es wird mit G bezeichnet), während das System B am Wind „befestigt“ ist (nennen wir es W). Auch hier müssen wir ein Vektordiagramm wie das aus Abb. 1.20 im Lehrbuch zeichnen, diesmal jedoch mit drei Geschwindigkeitsvektoren.

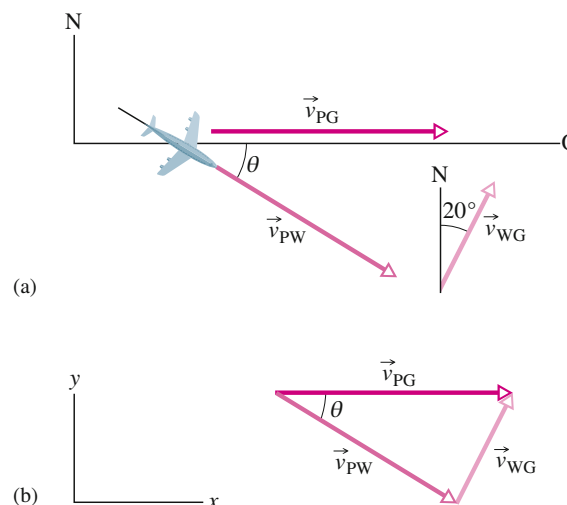


Abb. Ü1.11
Um direkt nach Osten fliegen zu können, muss der Pilot das Flugzeug leicht in den Wind drehen.

Fassen wir zunächst in Worten zusammen, wie die Vektoren miteinander verbunden sind

$$\begin{array}{ccccc} \text{Geschwindigkeit des} & & \text{Geschwindigkeit des} & & \text{Geschwindigkeit} \\ \text{Flugzeugs relativ} & = & \text{Flugzeugs relativ} & + & \text{des Winds relativ} \\ \text{zum Boden (PG)} & & \text{zum Wind (PW)} & & \text{zum Boden (WG)} \end{array}$$

Diese Beziehung können wir, wie in Abb. Ü1.11 dargestellt, zeichnen und erhalten damit die Vektorgleichung

$$\vec{v}_{PG} = \vec{v}_{PW} + \vec{v}_{WG} . \quad (\text{Ü1.31})$$

Gesucht werden der Betrag des ersten und der Winkel des zweiten Vektors. Mit Unbekannten in zwei Vektoren können wir Gl. Ü1.31 nicht direkt mit einem vektorfähigen Taschenrechner lösen. Stattdessen müssen wir die Vektoren in ihre Komponenten entlang der Achsen des Koordinatensystems aus Abb. Ü1.11b zerlegen und Gl. Ü1.31 dann Achse für Achse lösen (siehe Anhang D im Lehrbuch). Für die y -Komponenten erhalten wir

$$v_{PG,y} = v_{PW,y} + v_{WG,y}$$

oder

$$0 = -(215 \text{ km/h}) \sin \theta + (65,0 \text{ km/h})(\cos 20,0^\circ) .$$

Auflösen nach θ ergibt

$$\theta = \sin^{-1} \frac{(65,0 \text{ km/h})(\cos 20,0^\circ)}{215 \text{ km/h}} = 16,5^\circ .$$

Analog erhalten wir für die x -Komponenten

$$v_{PG,x} = v_{PW,x} + v_{WG,x} .$$

Da $\vec{v}_{PG}$ parallel zur x -Achse verläuft, ist die Komponente $v_{PG,x}$ gleich dem Betrag v_{PG} . Setzen wir dies und $\theta = 16,5^\circ$ ein, so ergibt sich für den Betrag

$$v_{PG} = (215 \text{ km/h})(\cos 16,5^\circ) + (65,0 \text{ km/h})(\sin 20,0^\circ) = 228 \text{ km/h} .$$

Aufgaben

1.1 Ein Baseballwerfer wirft einen Ball mit einer horizontalen Geschwindigkeit von 160 km/h. Wie lange braucht der Ball, bis er die Home Base in 18,4 m Entfernung erreicht?

1.2 Im Jahr 1992 stellte Chris Huber auf Cheetah, einem von drei Maschinenbaustudenten gebauten Hightech-Fahrrad, einen Geschwindigkeitsweltrekord auf. Er benötigte nur unglaubliche 6,509 s für die Messstrecke mit einer Länge von 200,0 m. Nach seiner Fahrt kommentierte Huber seinen Erfolg mit den Worten: „Cogito ergo zoom!“ („Ich denke, daher bin ich schnell!“). 2001 übertraf Sam Whittingham Hubers Rekord um 19,0 km/h. Wie lange benötigte er für die 200,0 m?

1.3 Ein Auto fährt auf einer geraden Straße 40 km weit mit 30 km/h. Anschließend bewegt es sich weitere 40 km mit 60 km/h.

(a) Wie groß ist die Durchschnittsgeschwindigkeit des Autos auf dieser Fahrt von 80 km? (Nehmen Sie an, dass es sich in die positive x -Richtung bewegt.)

(b) Wie groß ist die Effektivgeschwindigkeit?

(c) Tragen Sie x gegen t auf und erläutern Sie, wie sich die Durchschnittsgeschwindigkeit anhand der Kurve bestimmen lässt.

1.4 Der Pilot eines Kampffjets fliegt auf einem Radarvermeidungsmanöver mit 1300 km/h in horizontaler Richtung in einer Höhe von nur 35 m über den Boden. Plötzlich steigt der Boden mit $4,3^\circ$ sanft an – eine Steigung, die mit bloßem Auge nur sehr schwer zu erkennen ist (Abb. Ü1.A4). Wie viel Zeit bleibt dem Piloten, seine Flugbahn zu korrigieren, damit er nicht den Boden rammt?

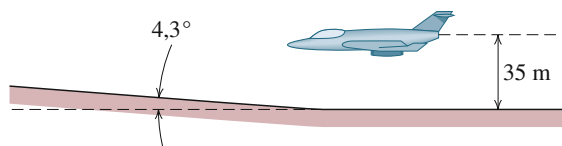


Abb. Ü1.A4

1.5 Sie fahren auf der Autobahn von San Antonio nach Houston die Hälfte der *Zeit* mit 55 km/h, die andere Hälfte mit 90 km/h. Auf dem Rückweg fahren Sie die Hälfte der *Strecke* mit 55 km/h und die andere Hälfte mit 90 km/h. Wie groß ist Ihre Effektivgeschwindigkeit auf der Fahrt

- von San Antonio nach Houston,
- von Houston zurück nach San Antonio und
- auf der gesamten Fahrt?
- Wie groß ist Ihre Durchschnittsgeschwindigkeit auf der gesamten Fahrt?
- Skizzieren Sie x als Funktion von t im Fall (a) unter der Annahme, dass die Bewegung in die positive x -Richtung erfolgt. Geben Sie an, wie die Durchschnittsgeschwindigkeit anhand der Kurve ermittelt werden kann.

1.6 Tragen Sie Ihre Durchschnittsgeschwindigkeit in den folgenden beiden Fällen auf

- Sie gehen zunächst 73,2 m mit einer Geschwindigkeit von 1,22 m/s und laufen dann weitere 73,2 m mit einer Geschwindigkeit von 3,05 m/s einen geraden Weg entlang.
- Sie gehen 1,00 min mit einer Geschwindigkeit von 1,22 m/s und laufen dann 1,00 min mit 3,05 m/s einen geraden Weg entlang.
- Tragen Sie für beide Fälle x in Abhängigkeit von t auf und geben Sie an, wie sich die Durchschnittsgeschwindigkeit anhand der Kurve bestimmen lässt.

1.7 Die Position eines Objekts, das sich entlang einer x -Achse bewegt, wird durch $x = 3t - 4t^2 + t^3$ beschrieben, wobei x in Metern und t in Sekunden angegeben wird.

- Was ist die Position des Objekts bei $t = 1, 2, 3$ und 4 s?
- Wie groß ist die Verschiebung des Objekts zwischen $t = 0$ und $t = 4$ s?
- Wie groß ist seine Durchschnittsgeschwindigkeit im Zeitintervall von $t = 2$ bis $t = 4$ s?
- Tragen Sie x als Funktion von t für $0 \leq t \leq 4$ auf und geben Sie an, wie Sie die Antwort auf Frage (c) anhand der Kurve herausfinden können.

1.8 Zwei Züge bewegen sich mit jeweils 30 km/h auf dem gleichen Gleis aufeinander zu. In dem Moment, in dem sich die beiden Züge 60 km weit auseinander befinden, fliegt ein Vogel mit 60 km/h von der Spitze des einen Zugs los und direkt auf den anderen Zug zu. Kaum hat er diesen erreicht, kehrt er um und fliegt zum ersten Zug zurück usw. (Warum ein Vogel so etwas tun würde, wissen wir nicht.) Welche Gesamtstrecke legt der Vogel zurück?

1.9 Die Gewinner von zwei Ein-Kilometer-Wettrennen liefen die Strecke auf *verschiedenen* Bahnen in 2 min, 27,95 s bzw. 2 min, 28,15 s. Um zu dem Schluss kommen zu können, dass der Läufer mit der kürzesten Zeit tatsächlich der schnellere war, wie viel länger darf die andere Bahn tatsächlich gewesen sein?

1.10

- Die Position eines Teilchens ist durch $x = 4 - 12t + 3t^2$ gegeben, wobei t in Sekunden und x in Metern gemessen wird. Wie groß ist seine Geschwindigkeit zur Zeit $t = 1$ s?
- Bewegt es sich zu dem Zeitpunkt in die positive oder negative Richtung der x -Achse?
- Wie groß ist der Betrag seiner Geschwindigkeit zu dem Zeitpunkt?
- Ist dieser Geschwindigkeitsbetrag größer oder kleiner als zu späteren Zeiten?
(Versuchen Sie, die nächsten beiden Fragen ohne weitere Berechnungen zu beantworten.)
- Wird die Geschwindigkeit des Teilchens jemals null und wenn ja, zu welchem Zeitpunkt?
- Gibt es einen Zeitpunkt nach $t = 3$ s, an dem das Teilchen sich in die negative x -Richtung bewegt?

1.11 Die Position eines Teilchens, das sich auf der x -Achse bewegt, ist in Zentimetern durch $x = 9,75 + 1,50t^3$ gegeben, wobei t in Sekunden gemessen wird. Berechnen Sie

- die Durchschnittsgeschwindigkeit während des Zeitintervalls $t = 2,00$ s bis $t = 3,00$ s;
- die Momentangeschwindigkeit bei $t = 2,00$ s;
- die Momentangeschwindigkeit bei $t = 3,00$ s;
- die Momentangeschwindigkeit bei $t = 2,50$ s und
- die Momentangeschwindigkeit in dem Augenblick, in dem sich das Teilchen genau in der Mitte zwischen den beiden Orten bei $t = 2,00$ s und $t = 3,00$ s befindet.
- Tragen Sie x als Funktion von t auf und begründen Sie Ihre Antworten anhand der Grafik.

1.12 Welche Entfernung legt der Läufer, dessen $v(t)$ -Kurve in Abb. Ü1.A12 aufgetragen ist, innerhalb von 16 s zurück?

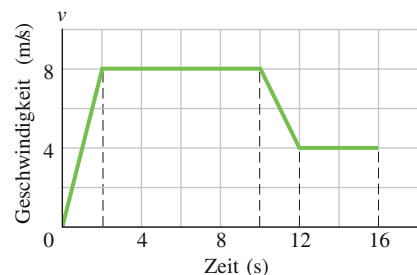


Abb. Ü1.A12

1.13 Der Betrag der Geschwindigkeit eines Teilchens ist zu einer bestimmten Zeit 18 m/s. 2,4 s später beträgt seine Geschwindigkeit 30 m/s in die entgegengesetzte Richtung. Ermitteln Sie Betrag und Richtung der Durchschnittsbeschleunigung des Teilchens während dieses Zeitintervalls von 2,4 s.

1.14 Ein Mann steht von $t = 0$ bis $t = 5,00$ min bewegungslos. Von $t = 5,00$ min bis $t = 10,0$ min bewegt er sich zügig auf einer geraden Linie mit einer konstanten Geschwindigkeit von 2,20 m/s. Wie groß sind

- (a) seine Durchschnittsgeschwindigkeit v_{gem} und
- (b) seine Durchschnittsbeschleunigung a_{gem} während des Zeitintervalls von $t = 2,00 \text{ min}$ bis $t = 8,00 \text{ min}$? Wie groß sind
- (c) v_{gem} und
- (d) a_{gem} im Zeitintervall von $t = 3,00 \text{ min}$ bis $t = 9,00 \text{ min}$?
- (e) Zeichnen Sie x als Funktion von t und v als Funktion von t und erläutern Sie, wie die Antworten auf die Fragen (a) bis (d) aus den Kurven ermittelt werden können.

1.15 Ein Proton bewegt sich entlang einer x -Achse gemäß der Gleichung $x = 50t + 10t^2$, wobei x in Metern und t in Sekunden gemessen wird. Berechnen Sie

- (a) die Durchschnittsgeschwindigkeit des Protons während der ersten $3,0 \text{ s}$ seiner Bewegung,
- (b) die Momentangeschwindigkeit des Protons zur Zeit $t = 3,0 \text{ s}$ und
- (c) die Momentanbeschleunigung des Protons bei $t = 3,0 \text{ s}$.
- (d) Zeichnen Sie x als Funktion von t und erläutern Sie, wie die Antwort auf die Frage (a) aus der Kurve ermittelt werden kann.
- (e) Geben Sie die Antwort auf Frage (b) auf der Kurve an.
- (f) Zeichnen Sie v als Funktion von t und geben Sie auf der Kurve die Antwort auf Frage (c) an.

1.16 Die Position eines Elektrons, das sich entlang der x -Achse bewegt, wird durch $x = 16te^{-t}$ beschrieben, wobei t in Sekunden angegeben ist. Wie weit ist das Elektron in dem Augenblick, in dem es vorübergehend anhält, vom Ursprung entfernt?

1.17 Die Position eines Teilchens, das sich entlang der x -Achse bewegt, hängt entsprechend der Gleichung $x = ct^2 - bt^3$ von der Zeit ab, wobei x in Metern und t in Sekunden angegeben werden.

- (a) Welche Einheiten müssen die Konstanten c und b besitzen? Ihre Zahlenwerte seien jeweils $3,0$ und $2,0$.
- (b) Zu welcher Zeit erreicht das Teilchen seine in positiver x -Richtung maximale Position?
- (c) Welche Strecke legt das Teilchen von $t = 0,0 \text{ s}$ bis $t = 4,0 \text{ s}$ zurück und
- (d) wie groß ist dabei seine Verschiebung? Wie groß sind
- (e) seine Geschwindigkeit und
- (f) seine Beschleunigung bei $t = 1,0 \text{ s}$, $2,0$, $3,0$ und $4,0 \text{ s}$?

1.18 Ein Autofahrer vergrößert die Geschwindigkeit seines Wagens mit konstanter Beschleunigung in $0,50 \text{ min}$ von 25 km/h auf 55 km/h . Ein Fahrradfahrer beschleunigt mit konstanter Beschleunigung in $0,50 \text{ min}$ von null auf 30 km/h . Berechnen Sie die entsprechenden Beschleunigungen.

1.19 Ein Myon (ein Elementarteilchen) tritt mit einer Geschwindigkeit von $5,00 \cdot 10^6 \text{ m/s}$ in einen bestimmten Bereich ein und wird in diesem Bereich dann mit einer Verzögerung von $1,25 \cdot 10^{14} \text{ m/s}^2$ abgebremst.

- (a) Welche Strecke legt das Myon zurück, bis es anhält?
- (b) Zeichnen Sie die Größen x und v als Funktionen von t auf.

1.20 Der Kopf einer Klapperschlange kann während des Angriffs eine Beschleunigung von 50 m/s^2 erreichen. Wenn ein Auto genauso schnell beschleunigen könnte, in welcher Zeit käme es dann von null auf 100 km/h ?

1.21 Ein Elektron wird konstant mit $+3,2 \text{ m/s}^2$ beschleunigt. Zu einem bestimmten Zeitpunkt ist seine Geschwindigkeit gleich $+9,6 \text{ m/s}$. Wie groß ist seine Geschwindigkeit

- (a) $2,5 \text{ s}$ vorher und
- (b) $2,5 \text{ s}$ später?

1.22 Eine Kugel besitzt am Austritt eines Gewehrlaufs von $1,20 \text{ m}$ Länge eine Geschwindigkeit von 640 m/s . Ermitteln Sie unter der Annahme, dass die Beschleunigung konstant ist, wie lange sich die Kugel nach dem Abfeuern im Gewehrlauf befunden hat.

1.23 Ein Raumschiff bewegt sich in den Tiefen des Alls mit einer konstanten Beschleunigung von $9,8 \text{ m/s}^2$, die den Insassen während des Flugs das Gefühl normaler Schwerkraftbedingungen vermittelt.

- (a) Wie lange braucht das Raumschiff, um von null auf eine Geschwindigkeit zu kommen, die einem Zehntel der Lichtgeschwindigkeit von $3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ entspricht?
- (b) Welche Entfernung legt es dabei zurück?

1.24 Ein Jumbojet muss auf der Startbahn eine Geschwindigkeit von 360 km/h erreichen, damit er abheben kann. Wie groß ist die kleinste konstante Beschleunigung, die es dem Flugzeug erlaubt, von einer $1,80 \text{ km}$ langen Bahn zu starten?

1.25 Ein Elektron tritt mit einer Anfangsgeschwindigkeit von $v_0 = 1,50 \cdot 10^5 \text{ m/s}$ in einen $1,0 \text{ cm}$ langen Bereich ein, in dem es von einem elektrischen Feld beschleunigt wird (Abb. Ü1.A25). Es tritt anschließend mit einer Geschwindigkeit von $v = 5,70 \cdot 10^6 \text{ m/s}$ aus dem Bereich aus. Wie groß ist seine Beschleunigung unter der Annahme, dass diese konstant ist? (Ein solcher Vorgang fand früher in Fernsehern oder Monitoren mit Bildröhre statt.)

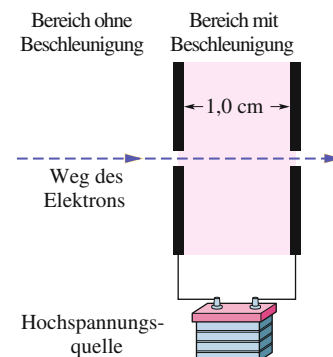


Abb. Ü1.A25

1.26 Im März 1954 stellte Colonel John P. Stapp anhand eines raketengetriebenen Schlittens, der mit 1020 km/h seine Bahn entlang schoss, einen Geschwindigkeitsweltrekord zu Lande auf. Fahrer und Schlitten wurden innerhalb von 1,4 s wieder zum Stehen gebracht (siehe Abb. 2.7). Wie groß ist die Beschleunigung, der Colonel Stapp während des Bremsvorgangs ausgesetzt war, in Einheiten von g ?

1.27 Die Bremsen Ihres Autos liefern eine maximale Verzögerung von $5,2 \text{ m/s}^2$.

- (a) Sie fahren mit 137 km/h und erblicken plötzlich eine Radarfalle. Wie lang brauchen Sie mindestens, um Ihren Wagen unter die maximal erlaubte Geschwindigkeit von 90 km/h zu bringen? (Die Antwort macht deutlich, wie sinnlos hier die Hoffnung ist, durch Bremsen dem „Geblixtwerden“ zu entgehen.)
- (b) Tragen Sie für eine solche Verzögerung x und v jeweils in Abhängigkeit von t auf.

1.28 Abbildung Ü1.A28 stellt die gleichmäßig beschleunigte Bewegung eines Teilchens entlang einer x -Achse dar. Wie groß ist der Betrag der Beschleunigung und in welche Richtung weist sie?

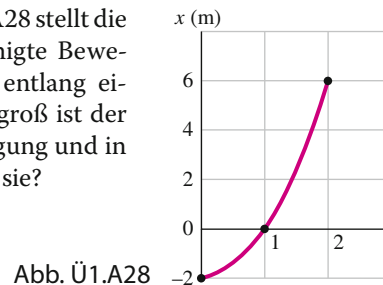


Abb. Ü1.A28

1.29 Ein Auto, das sich mit 56,0 km/h bewegt, befindet sich 24,0 m von einer Schranke entfernt, als der Fahrer mit Wucht auf die Bremse tritt. Der Wagen prallt 2,00 s später auf die Schranke auf.

- (a) Wie groß ist die konstante Beschleunigung des Wagens während des Bremsvorgangs?
- (b) Wie schnell bewegt sich der Wagen im Augenblick des Aufpralls?

1.30 Ein roter und ein grüner Zug bewegen sich mit 72 bzw. 144 km/h entlang einer geraden, waagerechten Strecke aufeinander zu. Als sie sich 950 m voneinander entfernt befinden, erblicken die Zugführer den jeweils anderen Zug und fangen an zu bremsen. Die Bremsen verzögern beide Züge mit einer Rate von $1,0 \text{ m/s}^2$. Stoßen die beiden Züge zusammen? Wenn ja, wie groß sind die Geschwindigkeiten der beiden Züge während des Aufpralls? Wenn nein, in welchem Abstand voneinander kommen die beiden Züge zum Halten?

1.31 Ein gleichmäßig beschleunigtes Auto legt die 60,0 m zwischen zwei bestimmten Punkten in 6,00 s zurück. Am zweiten Punkt fährt es mit einer Geschwindigkeit von 15,0 m/s vorbei.

- (a) Wie groß war sein Geschwindigkeitsbetrag am ersten Punkt?
- (b) Wie groß war die Beschleunigung?

(c) In welcher Entfernung vor dem ersten Punkt war die Geschwindigkeit des Wagens gleich null?

(d) Tragen Sie von dem Moment des Haltens ($t = 0$) an die Größen x und v als Funktionen von t auf.

1.32 In dem Augenblick, in dem die Ampel auf Grün springt, fährt ein Auto mit einer konstanten Beschleunigung a von $2,2 \text{ m/s}^2$ an. Im selben Moment überholt ein Lkw den Wagen mit einer konstanten Geschwindigkeit von $9,5 \text{ m/s}$.

- (a) In welcher Entfernung von der Ampel wird das Auto den Lkw überholen?
- (b) Wie schnell fährt das Auto in diesem Moment?

1.33 Um ein Auto anzuhalten, benötigen Sie zunächst eine bestimmte Reaktionszeit, bevor Sie überhaupt anfangen zu bremsen; danach wird der Wagen unter dem Einfluss einer konstanten Bremsverzögerung langsamer. Nehmen Sie an, dass sich Ihr Auto während dieser beiden Phasen bei einer Anfangsgeschwindigkeit von 80,5 km/h insgesamt 56,7 m weit bewegt, während Sie bei einer ursprünglichen Geschwindigkeit von 48,3 km/h insgesamt 24,4 m brauchen, bis Ihr Fahrzeug zum Stehen kommt. Wie groß sind

- (a) Ihre Reaktionszeit und
- (b) der Betrag der Verzögerungsrate?

1.34 Als ein Intercity mit 161 km/h um eine Kurve fährt, erschrickt der Lokführer: Eine weitere Lokomotive ist vor ihm ohne Freigabe von einem Seitengleis auf das Hauptgleis eingebogen und befindet sich in einem Abstand von $D = 676 \text{ m}$ voraus (Abb. Ü1.A34). Die Lokomotive bewegt sich mit 29,0 km/h in dieselbe Richtung wie der Intercity. Der Lokführer des Intercitys fängt sofort an zu bremsen.

- (a) Welche konstante Verzögerungsrate ist mindestens notwendig, um den Zusammenstoß gerade noch zu vermeiden?
- (b) Der Lokführer befinde sich in dem Augenblick $t = 0$, in dem er die Lokomotive zum ersten Mal erblickt, am Ort $x = 0$. Zeichnen Sie die $x(t)$ -Kurven für die Lokomotive und den Intercity für den Fall, dass der Zusammenstoß gerade noch vermieden wird, und für den Fall, in dem der Zusammenstoß gerade nicht vermieden werden kann.

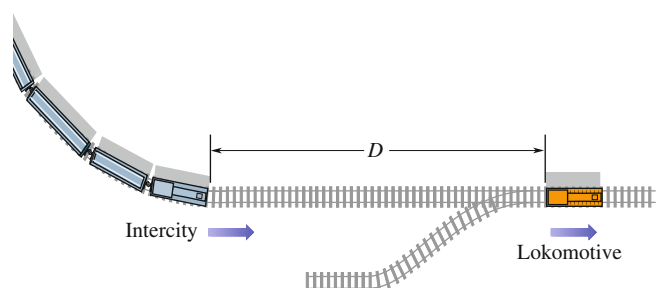


Abb. Ü1.A34

1.35 Ein Aufzug in einem New Yorker Hotel kann eine Gesamtstrecke von 190 m zurücklegen. Seine Maximalgeschwindigkeit beträgt dabei 305 m/min. Seine Beschleunigung und Verzögerung betragen jeweils $1,22 \text{ m/s}^2$.

- (a) Welche Wegstrecke benötigt der Aufzug, um von null auf Maximalgeschwindigkeit zu beschleunigen?
- (b) Wie lange braucht er, um die 190 m zurückzulegen, wenn er mit Geschwindigkeit null startet und nach 190 m wieder anhält?

1.36 Regentropfen fallen 1700 m aus einer Wolke zu Boden.

- (a) Nehmen Sie an, dass die Tropfen nicht durch den Luftwiderstand gebremst werden. Wie schnell sind die Tropfen bei ihrem Aufprall auf dem Erdboden?
- (b) Ist es gefährlich, sich während eines heftigen Niederschlags im Freien aufzuhalten?

1.37 Auf einer Baustelle schlägt ein Schraubenschlüssel mit einer Geschwindigkeit von 24 m/s auf dem Boden auf.

- (a) Aus welcher Höhe wurde der Schraubenschlüssel versehentlich fallen gelassen?
- (b) Wie lange dauerte der Fall?
- (c) Skizzieren Sie für den Schraubenschlüssel die Kurven von y , v und a in Abhängigkeit von t .

1.38 Ein Rowdy wirft einen Stein mit einer Anfangsgeschwindigkeit von 12,0 m/s vom Dach eines Gebäudes, das sich in einer Höhe von 30,0 m über dem Boden befindet, senkrecht nach unten.

- (a) Wie lange braucht der Stein, bis er auf dem Boden auftrifft?
- (b) Wie groß ist seine Geschwindigkeit beim Aufprall?

1.39

- (a) Mit welcher Geschwindigkeit muss ein Ball vom Boden aus senkrecht nach oben geworfen werden, damit er eine Maximalhöhe von 50 m erreicht?
- (b) Wie lange befindet sich der Ball in der Luft?
- (c) Skizzieren Sie für den Ball die Kurven von y , v und a in Abhängigkeit von t . Zeichnen Sie auf den ersten beiden Kurven ein, zu welcher Zeit der Ball die Maximalhöhe von 50 m erreicht.

1.40 Das Forschungszentrum zur Schwerelosigkeit im NASA Lewis Research Center verfügt über einen Fallturm von 145 m Höhe. In diesem luftleeren senkrechten Turm kann unter anderem eine Kapsel von einem Meter Durchmesser fallen gelassen werden, die verschiedene Messinstrumente und experimentelle Aufbauten enthält.

- (a) Wie lange befindet sich die Kapsel im freien Fall?
- (b) Wie groß ist ihre Geschwindigkeit in dem Moment, in dem sie von einer besonderen Vorrichtung am Boden des Turms aufgefangen wird?
- (c) Während des Auffangens ist die Kapsel – bis sie die Geschwindigkeit null erreicht – einer durchschnittlichen Verzögerung von $25g$ ausgesetzt. Wie weit bewegt sich die Kapsel während des Verzögerungsvorgangs?

1.41 Ein Felsbrocken wird von einer 100 m hohen Klippe hinuntergeworfen. Wie lange braucht der Stein, um

- (a) die ersten 50 m und
- (b) die zweiten 50 m hinunterzufallen?

1.42 Ein Ball wird von einer Höhe h aus senkrecht *nach unten* geworfen. Der Betrag seiner Geschwindigkeit ist dabei v_0 .

- (a) Wie schnell ist der Ball, kurz bevor er den Boden erreicht?
- (b) Wie lange braucht der Ball, bis er auf dem Boden aufprallt? Wie würden die Antworten auf
- (c) Frage (a) und
- (d) Frage (b) ausfallen, wenn der Ball von der gleichen Höhe aus mit dem gleichen Geschwindigkeitsbetrag *nach oben* geworfen worden wäre? Bevor Sie irgendeine Gleichung lösen, entscheiden Sie, ob die Antworten auf (c) und (d) größer als, kleiner als oder gleich groß wie die von (a) und (b) sind.

1.43 Ein aufgeschrecktes Gürteltier springt senkrecht in die Luft und erreicht dabei in den ersten 0,200 s eine Höhe von 0,544 m.

- (a) Wie groß ist die anfängliche Geschwindigkeit, mit der es den Boden verlässt?
- (b) Wie groß ist seine Geschwindigkeit in 0,544 m Höhe?
- (c) Welche Höhe erreicht das Gürteltier maximal?

1.44 Ein Stein wird (mit Anfangsgeschwindigkeit null) vom Dach eines 60 m hohen Gebäudes fallen gelassen. In welcher Höhe befindet sich der Stein, 1,2 s bevor er den Boden erreicht?

1.45 Ein Schlüssel fällt von einer Brücke, die sich 45 m über dem Wasser befindet. Er fällt direkt auf ein Modellboot, das sich mit konstanter Geschwindigkeit bewegt. Zu dem Zeitpunkt, als der Schlüssel fallen gelassen wurde, befand sich das Boot 12 m von dem Aufprallpunkt entfernt. Wie schnell bewegt sich das Boot?

1.46 Ein Ball wird vom Dach eines 36,6 m hohen Gebäudes senkrecht nach unten geworfen. 2,00 s, nachdem der Ball losgelassen wurde, fliegt er an der Oberkante eines Fensters vorbei, die sich 12,2 m über dem Boden befindet. Wie schnell ist der Ball in dem Augenblick, in dem er an der Oberkante des Fensters vorbeikommt?

1.47 Eine Kugel aus feuchtem Ton fällt aus einer Höhe von 15,0 m auf den Boden. Sie berührt den Boden während einer Zeitdauer von 20,0 ms, bevor sie anhält. Wie groß ist die Durchschnittsbeschleunigung der Kugel während der Zeit, in der sie den Boden berührt? (Behandeln Sie die Kugel wie ein Teilchen.)

1.48 Um die Qualität eines Tennisballs zu testen, lassen Sie ihn aus einer Höhe von 4,00 m auf den Boden fallen. Er prallt auf eine Höhe von 2,00 m zurück. Der Ball berührt den Boden während eines Zeitintervalls von 12,0 ms. Wie groß ist seine Durchschnittsbeschleunigung während des Aufpralls?

1.49 Ein Basketballspieler befindet sich in der Nähe des Korbes, um einen Rebound abzufangen. Dazu springt er 76,0 cm senkrecht nach oben. Wie viel Zeit verbringt der Spieler insgesamt

- (a) in den obersten 15,0 cm und
- (b) in den untersten 15,0 cm seines Sprungs? Erklärt dies, warum solche Spieler so aussehen, als seien sie am obersten Punkt ihres Sprungs quasi in der Luft aufgehängt?

1.50 Aus einem Duschkopf tropft Wasser 200 cm tief auf den Boden. Die Tropfen fallen in gleichmäßigen Zeitabständen; dabei erreicht der erste Tropfen den Boden in dem Moment, in dem der vierte Tropfen gerade anfängt, hinunterzufallen. Ermitteln Sie die Positionen

- (a) des zweiten und
- (b) des dritten Tropfens in dem Augenblick, in dem der erste Tropfen den Boden erreicht.

1.51 Ein Ball wird von der Oberfläche eines Planeten in einem fernen Sonnensystem senkrecht nach oben geworfen. Abbildung Ü1.A51 zeigt die Kurve von y in Abhängigkeit von t für den Ball. Hierbei sind y die Höhe des Balls oberhalb seines Ausgangspunkts und $t = 0$ der Zeitpunkt, zu dem der Ball geworfen wird. Wie groß sind

- (a) der Betrag der Gravitationsbeschleunigung dieses Planeten und
- (b) die Anfangsgeschwindigkeit des Balls?

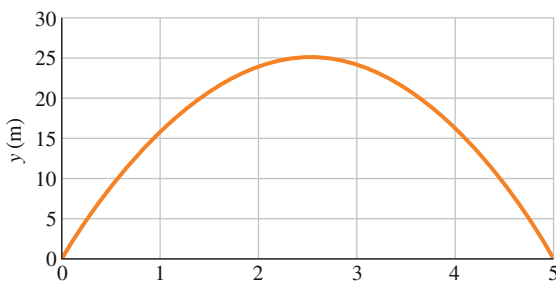


Abb. Ü1.A51

1.52 Zwei Diamanten fallen mit Anfangsgeschwindigkeit null aus der gleichen Höhe nach unten; der eine 1,0 s später als der andere. Nach welcher Zeitdauer (vom Start des ersten Diamanten an gemessen) befinden sich die beiden Diamanten 10 m weit auseinander?

1.53 Ein Jongleur wirft seine Bälle üblicherweise senkrecht nach oben bis zu einer Höhe H . Bis zu welcher Höhe müsste er die Bälle werfen, damit sie doppelt so lange in der Luft bleiben?

1.54 Ein Heißluftballon steigt mit einer Geschwindigkeit von 12 m/s auf. Er befindet sich 80 m über dem Boden, als ein Paket aus dem Korb hinausgeworfen wird.

- (a) Wie lang braucht das Paket, bis es den Boden erreicht?
- (b) Mit welcher Geschwindigkeit trifft es auf dem Boden auf?

1.55 Ein Stein wird von einer 43,9 m hohen Brücke aus in den darunterliegenden Fluss fallen gelassen. Ein weiterer Stein wird 1,00 s nach dem ersten hinuntergeworfen. Beide Steine erreichen die Wasseroberfläche zur gleichen Zeit.

- (a) Wie groß ist der Betrag der Anfangsgeschwindigkeit des zweiten Steins?
- (b) Tragen Sie für jeden der beiden Steine die Geschwindigkeit als Funktion der Zeit auf (mit $t = 0$ als dem Zeitpunkt, wenn der erste Stein losgelassen wird).

1.56 Ein Aufzug ohne Dach fährt mit einer konstanten Geschwindigkeit von 10 m/s nach oben. In dem Aufzug wirft ein Junge aus einer Höhe von 2,0 m über dem Fußboden des Aufzugs einen Ball senkrecht nach oben – genau in dem Moment, in dem sich der Fußboden des Aufzugs 28 m über dem Erdboden befindet. Die anfängliche Geschwindigkeit des Balls relativ zum Aufzug beträgt 20 m/s.

- (a) Welche Maximalhöhe über dem Erdboden erreicht der Ball?
- (b) Wie lange braucht der Ball, bis er wieder auf dem Fußboden des Aufzugs auftrifft?

1.57 Ein Stein wird senkrecht nach oben geworfen. Auf seinem Weg nach oben kommt er an Punkt A mit der Geschwindigkeit v und an Punkt B, der sich 3,00 m über A befindet, mit der Geschwindigkeit $v/2$ vorbei. Berechnen Sie (a) die Geschwindigkeit v und (b) die maximale Höhe, die der Stein oberhalb von B erreicht.

1.58 Abbildung Ü1.A58 zeigt eine einfache Vorrichtung zur Messung Ihrer Reaktionszeit. Sie besteht aus einem Pappstreifen, auf dem eine Skala und zwei große Punkte eingezeichnet sind. Ein Freund von Ihnen fasst den Streifen am Punkt auf der rechten Seite von Abb. Ü1.A58 zwischen Daumen und Zeigefinger und hält den Streifen dann senkrecht in die Höhe. Anschließend legen Sie Ihren Daumen und Zeigefinger an den anderen Punkt (in Abb. Ü1.A58 auf der linken Seite), ohne den Pappstreifen jedoch zu berühren. Ihr Freund lässt den Streifen – ohne Vorwarnung – fallen und Sie versuchen, ihn so schnell wie möglich mit Daumen und Zeigefinger zu fassen zu kriegen. Die Markierung, bei der sich Ihre Finger befinden, gibt Ihre Reaktionszeit an.

- (a) Wie weit sollte die 50,0 ms-Markierung vom unteren Punkt entfernt sein?
- (b) Wie viel höher sollten die Markierungen für 100, 150, 200 und 250 ms liegen? (Sollte die 100-ms-Markierung z. B. zweimal so weit von dem Punkt entfernt sein wie die 50-ms-Markierung? Können Sie in den Antworten ein bestimmtes Muster erkennen?)



Abb. Ü1.A58

1.59 Eine Fallschirmspringerin springt aus einem Flugzeug und fällt 50 m im freien Fall. Dann öffnet sich der Fallschirm und verzögert den Fall mit $2,0 \text{ m/s}^2$. Die Springerin erreicht den Boden mit $3,0 \text{ m/s}$.

- (a) Wie lange befand sie sich in der Luft?
(b) In welcher Höhe ist sie aus dem Flugzeug gesprungen?

1.60 Eine verträumte Katze schaut aus einem Fenster und bemerkt einen Blumentopf, der zuerst nach oben und dann nach unten an dem Fenster vorbeifliegt. Der Topf ist für insgesamt $0,50 \text{ s}$ zu sehen; die Höhe des Fensters von der Fensterbank bis zur Oberkante beträgt $2,00 \text{ m}$. Welche Höhe über der Oberkante des Fensters erreicht der Blumentopf?

1.61 Der Kern einer Wassermelone besitze die folgenden Koordinaten: $x = -5,0 \text{ m}$, $y = -8,0 \text{ m}$ und $z = 0 \text{ m}$. Bestimmen Sie seinen Ortsvektor

- (a) in Einheitsvektoren-Schreibweise und als
(b) ein Betrag und
(c) ein Winkel relativ zur positiven Richtung der x -Achse.
(d) Skizzieren Sie diesen Vektor in einem rechtshändigen Koordinatensystem. Der Kern bewege sich nun zu den xyz -Koordinaten $(3,00 \text{ m}, 0 \text{ m}, 0 \text{ m})$. Wie lautet seine Verschiebung
(e) in Einheitsvektoren-Schreibweise und als
(f) ein Betrag und
(g) ein Winkel relativ zur positiven Richtung der x -Achse?

1.62 Der Ortsvektor eines Elektrons sei

$$\vec{r} = (5,0 \text{ m})\vec{e}_x - (3,0 \text{ m})\vec{e}_y + (2,0 \text{ m})\vec{e}_z.$$

- (a) Ermitteln Sie den Betrag von $\vec{r}$.
(b) Zeichnen Sie den Vektor in einem rechtshändigen Koordinatensystem.

1.63 Der Ortsvektor eines Protons sei zunächst

$$\vec{r} = 5,0\vec{e}_x - 6,0\vec{e}_y + 2,0\vec{e}_z$$

und später

$$\vec{r} = -2,0\vec{e}_x + 6,0\vec{e}_y + 2,0\vec{e}_z$$

(alle Angaben in Metern).

- (a) Wie lautet der Verschiebungsvektor des Protons und
(b) zu welcher Ebene ist dieser Vektor parallel?

1.64 Eine Radaranlage registriert ein Flugzeug, das direkt von Osten heranfliegt (Abb. Ü1.A64). Zum ersten Beobachtungszeitpunkt ist der Abstand zwischen Flugzeug und Radaranlage gleich 360 m unter einem Winkel von 40° über dem Horizont. Die Radaranlage verfolgt das Flugzeug über einen Winkel von 123° hinweg in einer senkrechten Ost-West-Ebene bis zu dem Augenblick, in dem sich das Flugzeug in einer Entfernung von 790 m von der Radaranlage befindet. Bestimmen Sie die Verschiebung des Flugzeugs während des Beobachtungszeitraums.

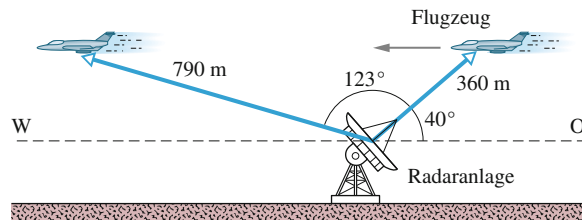


Abb. Ü1.A64

1.65 Ein Zug fahre $40,0 \text{ min}$ lang mit einem konstanten Geschwindigkeitsbetrag von $60,0 \text{ km/h}$ nach Osten, dann $20,0 \text{ min}$ lang in eine Richtung $50,0^\circ$ östlich von Norden und schließlich $50,0 \text{ min}$ lang nach Westen. Wie lautet die Durchschnittsgeschwindigkeit des Zugs während dieser Fahrt?

1.66 Der Ortsvektor eines Ions sei anfänglich

$$\vec{r} = 5,0\vec{e}_x - 6,0\vec{e}_y + 2,0\vec{e}_z,$$

10 s später sei er

$$\vec{r} = -2,0\vec{e}_x + 8,0\vec{e}_y - 2,0\vec{e}_z$$

(alle Angaben in Metern). Wie lautet seine Durchschnittsgeschwindigkeit während dieser 10 s ?

1.67 Die Position eines Elektrons wird durch

$$\vec{r} = 3,00t\vec{e}_x - 4,00t^2\vec{e}_y + 2,00\vec{e}_z$$

gegeben, wobei t in Sekunden und $\vec{r}$ in Metern gemessen werden.

- (a) Wie lautet die Geschwindigkeit $\vec{v}(t)$ des Elektrons? Wie lautet $\vec{v}$ zur Zeit $t = 2,00$
(b) in Einheitsvektoren-Schreibweise sowie als
(c) ein Betrag und
(d) ein Winkel relativ zur positiven Richtung der x -Achse?

1.68 Die Oase A liegt 90 km westlich von der Oase B. Ein Kamel verlässt die Oase A und läuft innerhalb von 50 h 75 km in eine Richtung von 37° nördlich von Osten. Dann wendet sich das Kamel nach Süden und legt innerhalb von 35 h eine Entfernung von 65 km zurück. Daraufhin ruht es sich $5,0 \text{ h}$ aus.

- (a) Wie lautet die Verschiebung des Kamels relativ zur Oase A nach dem Ausruhen?
(b) Wie lautet die Durchschnittsgeschwindigkeit des Kamels zwischen dem Zeitpunkt, in dem es die Oase A verlässt, und dem Moment, in dem es seine Ruhepause beendet hat?
(c) Wie groß ist der Betrag der Durchschnittsgeschwindigkeit in diesem Zeitintervall?
(d) Wenn ein Kamel fünf Tage (120 h) lang laufen kann, ohne Wasser zu brauchen, wie muss dann seine Durchschnittsgeschwindigkeit nach dem Ausruhen lauten, damit es die Oase B gerade noch rechtzeitig erreicht?