

Arbeit und Energie

Arbeit ist ein Mass für den Energie-transfer. Wenn keine Reibung vorhanden ist und wenn positive Arbeit an einem Objekt geleistet wird, dann führt dies zu einer Zunahme der kinetischen oder der potentiellen Energie des Objektes. Um an einem Objekt Arbeit zu verrichten muss man darauf eine Kraft entlang oder entgegen der Bewegungsrichtung des Objektes ausüben. Wenn die Kraft konstant und parallel zum Weg des Objektes ist, dann kann die Arbeit W mit der folgenden Formel berechnet werden

$$W=F \cdot s$$

Dabei ist F die konstante Kraft und s die Verschiebung des Objektes. Wenn die Kraft nicht konstant ist dann können wir die Arbeit mit einer graphischen Technik immer noch berechnen. Wir unterteilen die gesamte Verschiebung in kleine Segmente Δs . Dann ist die Kraft während jedem dieser Segmente konstant. Die Arbeit kann dann für jedes Segment mit der oben stehenden Formel berechnet werden. Die gesamte Arbeit für die gesamte Verschiebung ist dann die Summe der Arbeiten in den einzelnen Intervallen.

$$W = \sum F(s) Ds$$

Diese Summe kann graphisch als die Fläche unter dem Kraft gegen Ort (F-s) Graphen bestimmt werden.¹

Diese Gleichung für die Arbeit kann einfach mit dem Kraft-Messer und dem Bewegungs-Detektor ausgewertet werden. In diesem Fall sagt das Arbeit-Energie-Theorem, dass die verrichtete Arbeit mit der Energie zusammenhängt wie

$$W = \Delta PE + \Delta KE$$

wo W die verrichtete Arbeit, ΔPE die Änderung der potentielle Energie und ΔKE die Änderung der kinetischen Energie ist.

In diesem Experiment untersuchen Sie den Zusammenhang zwischen Arbeit, potentieller und kinetischer Energie.

ZIELE

- Verwendung des Bewegungs-Detektors und eines Kraft-Messers um die Position und die Kraft einer hängenden Masse, einer Feder und eines Wägelchens zu messen.
- Bestimmen Sie die Arbeit die an einem Objekt verrichtet wird aufgrund des Kraft-Ort-Graphen.
- Benutzen Sie den Bewegungs-Detektor um die Geschwindigkeit zu messen und berechnen Sie die kinetische Energie.
- Vergleichen Sie die verrichtete Arbeit am Wagen und die Änderung der mechanischen Energie.

¹ Wenn Sie mit der Integralrechnung vertraut sind, dann können Sie erkennen, dass die Summe zum Integral

$$W = \int_{s_{\text{initial}}}^{s_{\text{final}}} F(s) ds \text{ führt.}$$

MATERIALS

computer	masses (200 g and 500 g) Massen (200g und 500g) (unten flach.)
Vernier computer interface	spring with a low spring constant (~10 N/m) Feder mit einer kleinen Federkonstante (ca. 10 N/m)
Logger Pro	masking tape /Klebband
Vernier Motion Detector / Bewegungs-Detektor	wire basket (to protect Motion Detector) Drahtkorb um den Bewegungs-Detektor zu schützen
Vernier Force Sensor / Kraft-Sensor dynamics cart /Wägelchen	rubber band / Gummiband

VORANGEHENDE FRAGEN

1. Heben Sie ein Buch vom Boden auf den Tisch. Haben Sie gearbeitet? Um die Frage zu beantworten überlegen Sie, ob die angewendete Kraft parallel zur Verschiebung des Buches ist.
2. Wie gross war die durchschnittliche Kraft auf des Buch während es gehoben wurde? Können Sie das Buch mit konstanter Kraft heben? Ignorieren Sie den kurzen Anfang und das letzte Ende der Bewegung um die Frage zu beantworten.
3. Halten Sie das Gummiband an einer Seite still und ziehen Sie es auf der anderen Seite. Haben Sie am Gummiband gearbeitet? Um die Frage zu beantworten überlegen Sie, ob die angewendete Kraft parallel zur Verschiebung des Gummibandes ist.
4. Ist die Kraft die Sie anwenden wenn Sie das Gummiband strecken konstant? Falls nicht, an welchem Punkt ist sie am kleinsten, an welchem am grössten?

VORGEHEN

Teil I Arbeit bei konstanter Kraft

In diesem Teil messen sie die Arbeit die benötigt wird, um ein Objekt gerade hinauf bei konstanter Geschwindigkeit zu heben. Die Kraft die sie anwenden gleicht gerade die Gewichtskraft aus und ist deshalb konstant. Die Arbeit kann aus der Verschiebung und der mittleren Kraft berechnet werden. Oder auch als Fläche unter dem Kraft – Positions-Graphen.

1. Verbinden Sie den Bewegungs-Detektor mit DIG/SONIC 1 des Interfaces. Verbinden Sie den Kraftsensor mit Channel 1 des Interfaces. Stellen Sie den Bereich auf 10 N.
2. Öffnen Sie das File “18a Work and Energy” from the *Physics with Computers*. Drei Graphen erscheinen auf dem Bildschirm: Position gegen Zeit, Kraft gegen Zeit und Kraft gegen Position. Die Daten werden während 5 s aufgenommen.
3. Sie können den Kraftmesser kalibrieren, oder diesen Schritt auslassen.
 - a. Wählen Sie Calibrate CH1: Dual Range Force aus dem Experiment-Menue. Click **Calibrate Now**.
 - b. Entfernen Sie alle Kräfte vom Kraftsensor. Geben Sie 0 (Null) im Feld 1 ein. Halten Sie den Sensor vertikal mit dem Hacken nach unten und warten Sie bis die Anzeige 1 stabil ist. Clicken Sie **Keep**. Das definiert die Kraft auf 0.

- c. Hängen Sie die 500 g Masse an den Sensor. Dadurch wird eine Kraft von 4.9 N auf den Sensor ausgeübt. Geben Sei 4.9 im Feld 2 ein. Nachdem die Anzeige stabil geworden ist klicken sie **Keep**. Click **Done** um den Kalibrations-Dialog abzuschliessen.
4. Halten Sie den Kraftsensor mit dem Hacken nach unten, aber ohne angehängte Masse. Klicken Sie **zero**, wählen Sie nur den Kraftsensor aus der Liste und klicken Sie **ok** um den Kraftsensor auf Null zu setzen.
5. Hängen Sie 200 g Masse an den Kraftsensor.
6. Stellen Sie den Bewegungsdetektor auf den Boden, weg von Tischbeinen und anderen Gegenständen. Stellen Sie den Drahtkorb über den Detektor um ihn vor herunterfallenden Gewichten zu schützen.
7. Halten Sie den Kraftsensor und die Masse ca. 0.5 m über dem Bewegungsdetektor. Klicken Sie **Start** um mit der Messung zu beginnen. Warten Sie ca. 1 s nachdem das tickende Geräusch angefangen hat. Bewegen Sie dann den Kraftsensor langsam 0.5 m aufwärts. Halten Sie dann den Sensor ruhig bis die Messung nach 5 s stoppt.
8. Untersuchen Sie den Position – Zeit – und den Kraft – Zeit – Graphen indem Sie den Auswertungs-Knopf **Stat** drücken. Lesen Sie aus dem Graphen die Startzeit für die Aufwärtsbewegung ab und tragen Sie sie in die Tabelle ein.
9. Untersuchen Sie die Positions – Zeit und Kraft – Zeit - Graphen und tragen Sie die Stopzeit in die Tabelle ein.
10. Bestimmen Sie die mittlere ausgeübte Kraft während das Gewicht gehoben wird. Wählen Sie dazu den Ausschnitt aus dem Kraft-Zeit-Graphen der mit Zeit des Hebels übereinstimmt. Schliessen Sie die kurzen Zeitintervalle vom Beginn und Ende der Bewegung aus. Klicken Sie auf den Statistik-Knopf **Stat**, um den Mittelwert der Kraft zu berechnen. Tragen Sie den Wert in Ihre Tabelle ein.
11. Wählen Sie im Kraft-Positions-Graphen den Bereich, der mit der Aufwärtsbewegung übereinstimmt. (Klicken Sie die Maus bei der Startposition und halten Sie sie gedrückt, bewegen Sie sie zur Stop-Position und lassen Sie sie los.) Klicken Sie den Integrate button, **Int**, um die Fläche unter der Kurve zu bestimmen. Tragen Sie diese Fläche in die Tabelle ein.
12. Drucken Sie den Graphen aus. (File Print ...)

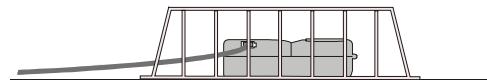
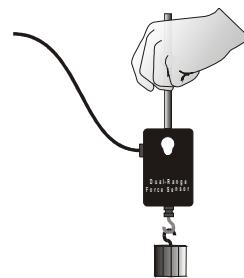


Figure 1

Teil II Arbeit beim Strecken einer Feder.

Im Teil II messen Sie die Arbeit beim strecken einer Feder. Im Gegensatz zum heben einer Masse ist die Kraft hier nicht konstant. Die Arbeit kann immer noch als die Fläche unter dem Kraft-Ort-Graphen berechnet werden.

13. Öffnen Sie das File “18b Work Done Spring” from the *Physics with Computers* Ordner. Drei Graphen erscheinen auf dem Bildschirm. Position-Zeit, Kraft-Zeit und Kraft-Position. Die Messung dauert 5 s.
14. Befestigen Sie ein Ende der Feder an einem festen Punkt. Hängen Sie den Kraftsensor am anderen Ende der Feder ein. Legen Sie den Kraftsensor so auf den Tisch, dass die Feder entspannt aber gestreckt daliegt. Es wirkt keine Kraft auf den Sensor.
15. Platzieren Sie den Bewegungs-Sensor ca. einen Meter vom Kraftsensor entfernt. Der Bewegungsmesser liegt auf einer Linie mit der Feder. Stellen Sie sicher, dass keine Gegenstände die Positionsmessung stören.

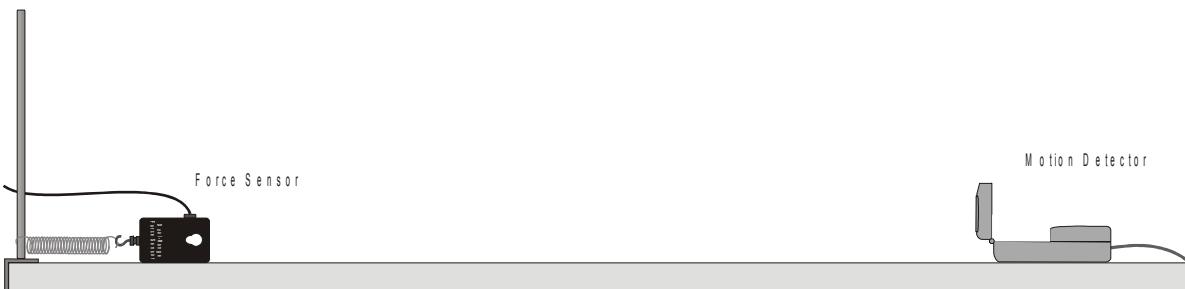


Figure 2

16. Markieren Sie mit Klebeband das vordere Ende des Kraftsensors auf dem Tisch. Der Startpunkt ist so zu wählen, dass die Feder entspannt ist. Halten Sie den Kraftsensor wie in Figure 3. Der Bewegungsmesser misst nun die Distanz zu Ihrer Hand, nicht zum Kraftsensor. Halten Sie Ihren Arm so, dass er die Distanzmessung nicht verfälscht. Klicken Sie . Im Dialog der nun erscheint wählen Sie nun beide Sensoren an. und klicken Sie . Logger Pro verwendet nun ein Koordinatensystem welches positiv ist auf den Bewegungsmesser *zu* und den Ursprung beim Kraftsensor hat.

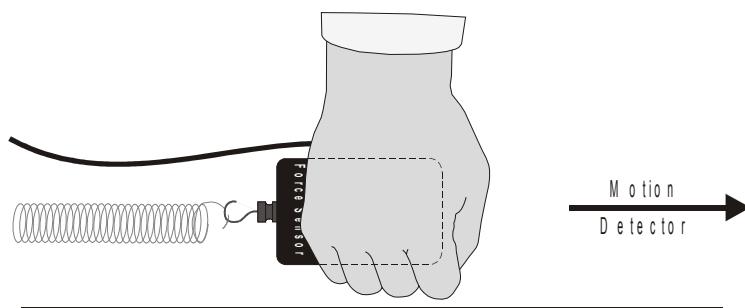


Figure 3

17. Klicken Sie um mit der Messung zu beginnen. Bewegen Sie den Kraftsensor innerhalb der Grenzen der Feder langsam bis die Feder in 5 Sekunden etwa 50 cm gestreckt wird. Halten Sie den Kraftsensor ruhig bis die Messung aufhört. Halten Sie einen Mindestabstand von 40 cm zum Distanzmesser ein.

18. Untersuchen Sie den Positions – Zeit- und den Kraft -Zeit – Graphen durch klicken auf den Examine button, Bestimmen Sie die Zeit wenn sie angefangen haben zu ziehen. Tragen Sie diese Zeit und die Position in der Tabelle ein.
19. Untersuchen Sie den Position – Zeit – und den Kraft – Zeit – Graphen und bestimmen Sie die Zeit bei der Sie aufgehört haben an der Feder zu ziehen. Tragen Sie diese Zeit und die Position in der Tabelle ein.
20. Klicken Sie auf den Kraft – Position – Graphen, dann klicken Sie den Linear Fit button, um die Steigung des Graphen zu bestimmen. Die Steigung entspricht der Federkonstanten k . Tragen Sie die Federkonstante und ind die Tabelle ein.
21. Die Fläche unter dem Kraft – Positions – Graphen entspricht der verrichteten Arbeit um die Feder zu strecken. Wie hängt die Arbeit vom Strecken ab? Wählen Sie auf dem Kraft – Positions – Graphen den Teil, der den ersten 10 cm strecken entspricht. (Halten Sie die Maus gedrückt, während Sie den Ausschnitt markieren). Klicken Sie den Integrate button, um die Fläche unter der Kurve zu bestimmen. Tragen Sie die Fläche in der Tabelle ein.
22. Wählen Sie jetzt den Bereich, der den ersten 20 cm strecken entspricht. (Die doppelte Streckung wie vorher). Bestimmen Sie die Arbeit und tragen Sie den Wert in der Tabelle ein.
23. Wählen Sie den Bereich der der maximalen Streckung entspricht die sie erreichen konnten. Bestimmen Sie die Arbeit und tragen Sie sie in die Tabelle ein.
24. Print the graphs (optional).
Drucken Sie den Graphen aus.

Teil III Arbeit beim Beschleunigen eines Wagens.

Im dritten Teil ziehen Sie mit einem Kraftsensor an einem Wagen und beschleunigen ihn. Der Bewegungs-Detektor erlaubt eine Messung der Anfangs- und der Endgeschwindigkeit. Mit dem Kraftsensor kann die am Wagen verrichtete Arbeit gemessen werden.

25. Öffnen Sie das file “18c Work Done Cart”. Drei Graphen erscheinen auf dem Bildschirm: Position – Zeit, Kraft – Zeit und Kraft – Position. Die Messung dauert 5 Sekunden.
26. Entfernen Sie die Feder. Bestimmen sie die Masse des Wagens. Tragen Sie die Masse in dei Tabelle ein.
27. Stellen Sie den Wagen 1.5 m vom Bewegungsdetektor auf, bereit um auf den Detector zu zu rollen.
28. Klicken . Kontrollieren Sie, dass beide Sensoren in der Zero Sensors Calibration box angewählt sind. Klicken . Logger Pro verwendet nun ein Koordinatensystem das den Ursprung beim Wagen hat und die positive Richtung auf den Detektor zu hat.
29. Halten Sie den Kraftsensor so, dass die Messachse des Sensors parallel zur Fahrtrichtung ist.
30. Klicken Sie um die Messung zu starten. Sobald sie den Bewegungs – Detektor hören ziehen sie den Wagen sanft in Richtung des Detektors. Das Ziehen sollte mindestens eine halbe Sekunde dauern. Lassen Sie den Wagen auf Detektor zu fahren, aber fangen Sie ihn bevor er den Detektor trifft.

Experiment 18

31. Untersuchen Sie den Position – Zeit und den Kraft – Zeit Graphen indem Sie auf den Examine Knopf ,  drücken. Bestimmen Sie die Startzeit und tragen Sie diese in die Tabelle ein.
32. Betrachten Sie den Position – Zeit Graphen und den Kraft – Zeit Graphen und bestimmen Sie die Zeit zu der Sie aufgehört haben am Wagen zu ziehen. Tragen Sie den Wert in die Tabelle ein.
33. Bestimmen Sie die Geschwindigkeit des Wagens nach dem Ziehen. Benutzen Sie die Steigung des Position – Zeit Graphen. Dieser sollte nachdem das Ziehen aufgehört hat eine gerade Linie sein. Tragen Sie den Wert in der Tabelle ein.
34. Bestimmen Sie aus dem Kraft – Postiton Graphen die Arbeit die Sie verrichtet haben um den Wagen zu beschleunigen. Um dies zu tun wählen Sie den Bereich mit der Maus und klicken den Integrations-Knopf ,  Tragen Sie den Wert in der Tabelle ein.
35. Drucken Sie den Graphen aus.

DATA TABLE

Part I		
	Time (s)	Position (m)
Start Moving		
Stop Moving		

Average force(N) / Durchschnittliche F	
Work done (J) / Verrichtete Arbeit	
Integral (during lift): force vs. position (N•m)	
ΔPE (J) / Änderung der pot. E.	

Part II		
	Time (s)	Position (m)
Start Pulling		
Stop Pulling		

Spring Constant (N/m) /Federkonst.	
------------------------------------	--

	Stretch		
	10 cm	20 cm	Maximum
Integral (during pull) (N•m)			
ΔPE (J)			

Part III		
	Time (s)	Position (m)
Start Pushing		
Stop Pushing		

Mass (kg)	
Final velocity (m/s)	
Integral during push (N•m)	
ΔKE of cart (J)	

AUSWERTUNG

1. Im Teil I hat sich durch das anheben der Masse die kinetische Energie nicht verändert. Die Arbeit muss also die potentielle Energie verändert haben. Berechnen Sie die Zunahme der (gravitations-) potentiellen Energie mit der folgenden Formel. Vergleichen Sie das mit der durchschnittlichen Arbeit in Teil I und mit der Fläche unter dem Kraft – Positions Graphen.

$$\Delta PE = mg\Delta h$$

dabei ist Δh der Höhenunterschied um den die Masse angehoben wurde. Tragen Sie den Wert in der Tabelle ein. Stimmt die verrichtete Arbeit mit der Änderung der potentiellen Energie überein? Sollte Sie?

2. Im zweiten Teil haben Sie Arbeit verrichtet um eine Feder zu spannen. Der Kraft – Position Graph hängt von der verwendeten Feder ab, aber er sollte für die meisten Federn eine gerade Linie sein. Dies stimmt mit dem Federgesetz (Hookschen Gesetz) $F = -kx$, überein. Dabei ist k die Federkonstante, gemessen in N/m. Wie gross ist die Federkonstante der verwendeten Feder? Sehen Sie in ihrem Graphen ob ihre Feder dem Federgesetz folgt? Denken Sie dass sie immer dem Federgesetz gehorcht, unabhängig davon, wie weit Sie sie dehnen? Weshalb ist die Steigung ihres Graphen positiv, während das Federgesetz ein Minuszeichen hat?
3. Die elastische potentielle Energie die in der Feder gespeichert ist beträgt $\Delta PE = \frac{1}{2} kx^2$, wo x die Dehnungsstrecke ist. Vergleichen Sie die Arbeit die sie zum Dehnen um 10 cm, 20 cm und zur maximalen Dehnung verwendet haben mit den theoretischen Werten die mit der Formel berechnet werden. Sollten Sie ähnlich sein? **Bemerkung** Verwenden Sie konsistente Einheiten. Tragen Sie ihre Werte in der Tabelle ein.
4. Im Teil III haben Sie gearbeitet um einen Wagen zu beschleunigen. Hier haben Sie durch Ihre Arbeit die kinetische Energie geändert. Da keine Feder verwendet wurde und sich der Wagen auf einer horizontalen Fläche bewegt hat gab es keine Änderung der kinetischen Energie. Und da die Anfangsgeschwindigkeit hier Null war gilt $\Delta KE = \frac{1}{2} mV^2$ wobei m die totale Masse des Wagens und v die Endgeschwindigkeit ist. Tragen Sie ihre Werte in der Tabelle ein.

ERWEITERUNGEN

1. Zeigen Sie dass ein N•m das gleiche ist wie ein J.
2. Beginnen Sie mit einer gestreckten Feder und lassen Sie die Feder am Wagen arbeiten indem er den Wagen auf den Befestigungspunkt zu zieht. Messen Sie mit dem Bewegungsdetektor die Geschwindigkeit zum Zeitpunkt in dem die Feder entspannt ist. Berechnen Sie die kinetische Energie des Wagens zu diesem Punkt und vergleichen Sie sie mit der Arbeit, die Sie im Teil II gemessen haben. Kommentieren Sie das Resultat.
3. Wiederholen Sie Teil 1, aber verändern Sie die Geschwindigkeit beim anheben der Masse. Der Kraft – Zeit Graph soll unregelmässig werden. Wird sich der Kraft – Position Graph verändern? Oder stimmt er weiterhin mit $mg\Delta h$ überein?
4. Wiederholen Sie den Teil III, aber beginnen Sie mit einem Wagen, der sich vom Detektor weg bewegt. Drücken Sie mit der Spitze des Kraftsensors auf den Wagen um ihn langsam zu stoppen und wieder zurück zu schicken. Vergleichen Sie die Arbeit mit der Änderung der kinetischen Energie des Wagens, unter Berücksichtigung der Anfangsgeschwindigkeit des Wagens.

Quelle: Physics with Computers, Vernier.

Übersetzung: Wolfgang@Pfalzgraf.ch, Martin Bittcher

Translated and posted with permission of Vernier Software & Technology, Beaverton, Oregon,
USA, 1 January 2007.

Copyright © 2003 by Vernier Software & Technology. All rights reserved.