

# Was bisher geschah...

Unser gemeinsamer Unterricht zum Thema  
Energie



# Kapitel 4: Energie

Physik – Klasse 10 – A-Kurs – 2019/2020

Lehrer: Thattamanni-Klug

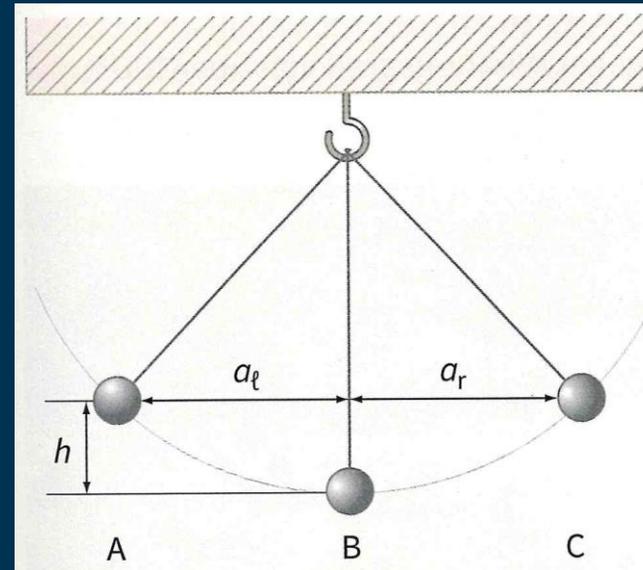
Richtsberggesamtschule Marburg

# Einstiegsfrage zum Pendel

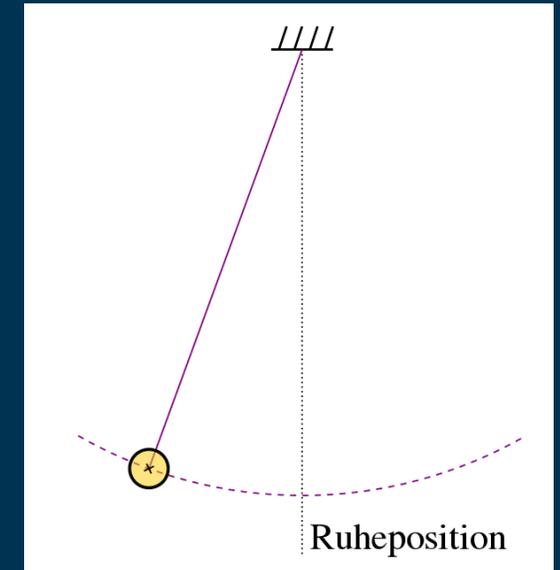
Wir begannen die Einheit zu Energie mit dem Pendel-Versuch und der Frage, wie hoch das ausgelenkte Pendel auf der anderen Seite kommt.

**Die Antwort:** Das Pendel kommt (nach Augenmaß) auf der anderen Seite wieder auf die gleiche Höhe, auf der das Pendel losgelassen wurde.

*[Berücksichtigen wir die Reibung (Luftreibung und Reibung an der Aufhängung des Pendels), kommt es nicht ganz auf die Höhe, auf der es losgelassen wurde.]*



**Quelle:** Erlebnis Physik 7/8: S. 116 (2016)



**Quelle:** <https://de.wikipedia.org/wiki/Pendel#/media/Datei:Pendelschwingung.gif>

# Erklärung

Nachdem wir Arbeitsblatt 1 zu einem Text des Physikers Richard Feynman bearbeitet hatten, haben wir versucht unsere Beobachtungen mithilfe des Energiebegriffs zu beschreiben.

1. Das ausgelenkte Pendel besitzt zum Zeitpunkt des Loslassens einen gewissen (noch unbekannt) Betrag an Energie.
2. Wenn die Energie auch am tiefsten Punkt der Pendelbewegung vorhanden ist und genauso groß ist wie zum Startzeitpunkt, muss sie eine andere Form angenommen haben. Am tiefsten Punkt ist die Geschwindigkeit des Pendels am größten. Also schlussfolgerten wir, dass die Energie nun in der Geschwindigkeit des Pendels steckt.
3. Am tiefsten Punkt besitzt das Pendel die höchste Geschwindigkeit. Die gesamte Energie, die in der anfänglichen Höhe des Pendels steckte, wurde nun in Bewegung umgewandelt. Es wurde also Höhenenergie in Bewegungsenergie umgewandelt.
4. Mit der Geschwindigkeit, die das Pendel am tiefsten Punkt besitzt, schwingt es weiter und erreicht auf der entgegengesetzten Seite wieder die Höhe, von der aus das Pendel gestartet ist. Die gesamte Bewegungsenergie hat sich wieder in Höhenenergie umgewandelt.

**Zusammengefasst:** Die „Höhenenergie“ wandelt sich in „Bewegungsenergie“ und anschließend wieder in „Höhenenergie“ um. Da die gleiche Höhe wie beim Start erreicht wird, bleibt die Energie erhalten.

## Höhenenergie

Fachbegriff: *potentielle Energie*

Formelzeichen:  $E_{pot}$

## Bewegungsenergie

Fachbegriff: *kinetische Energie*

Formelzeichen:  $E_{kin}$

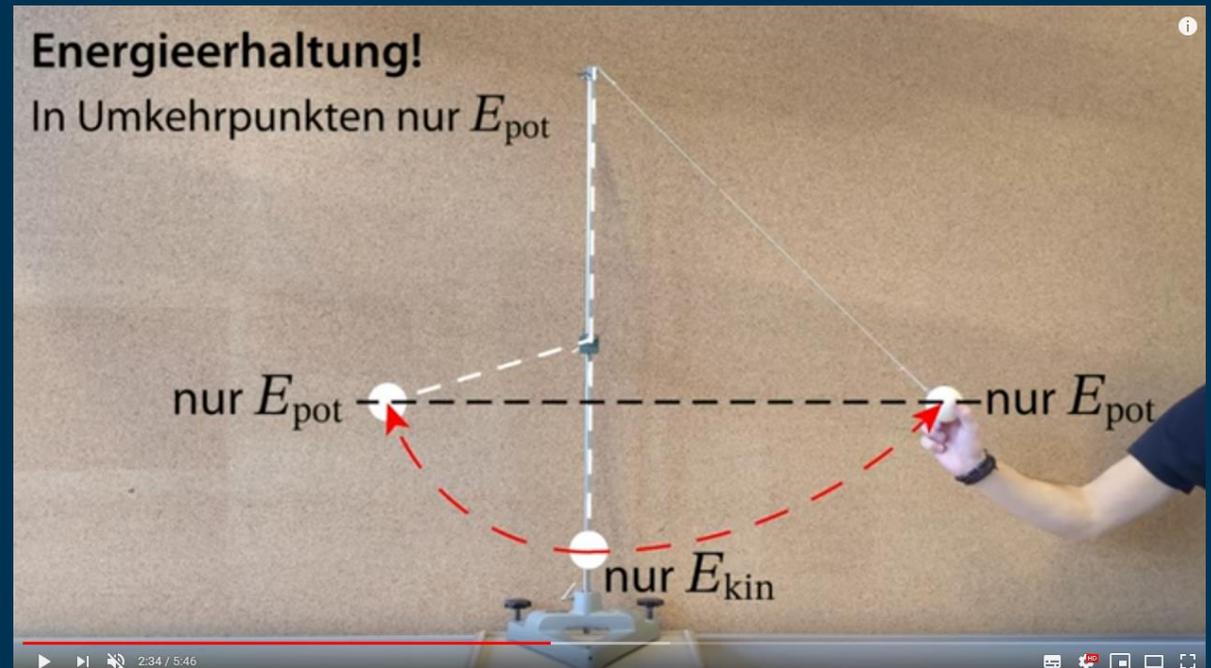
# Anschlussfrage zum Hemmungspendel

Anschließend haben wir ein Hindernis eingebaut (, das niedriger lag als der Startpunkt des Pendels,) und uns wieder die gleiche Frage gestellt: Wie hoch wird das Pendel auf der anderen Seite diesmal kommen?

Wird es eine größere Höhe, die gleiche Höhe oder eine niedrigere Höhe erreichen als bei der anfänglichen Auslenkung?

Hier haben wir viel über verschiedene Vermutungen diskutiert.

**Die Antwort:** Wieder gelangt das Pendel auf die gleiche Höhe.



Quelle: <https://www.youtube.com/watch?v=wMOqfiajqtY> (Zeit: 2:34)

# Erklärung

Während der Auseinandersetzung mit dem Hemmungspendel haben wir mit Arbeitsblatt 2 gearbeitet. Wir konnten unsere Aussagen zum ersten Pendel-Experiment verfeinern.

1. Das Pendel erreicht im Umkehrpunkt trotz der Hemmung die gleiche Höhe. **Egal was in der Zwischenzeit passiert:** Es muss immer genauso viel Energie vorhanden sein, wie beim Start der Pendelbewegung. Sie geht nicht verloren.
2. Wenn die gesamte Energie auch am tiefsten Punkt der Pendelbewegung vorhanden ist und genauso groß ist wie zum Startzeitpunkt, muss sie eine andere Form angenommen haben. Am tiefsten Punkt ist die Geschwindigkeit des Pendels am größten. Also schlussfolgerten wir, dass die Energie nun in der Bewegung/Geschwindigkeit des Pendels steckt.

**Zusammengefasst:** Die „Höhenenergie“ wandelt sich in „Bewegungsenergie“ und anschließend wieder in „Höhenenergie“ um. **Das gilt unabhängig vom Weg, den das Pendel zurücklegt!!**

## Höhenenergie

Fachbegriff: *potentielle Energie*

Formelzeichen:  $E_{pot}$

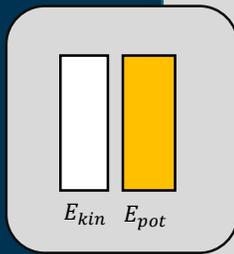
## Bewegungsenergie

Fachbegriff: *kinetische Energie*

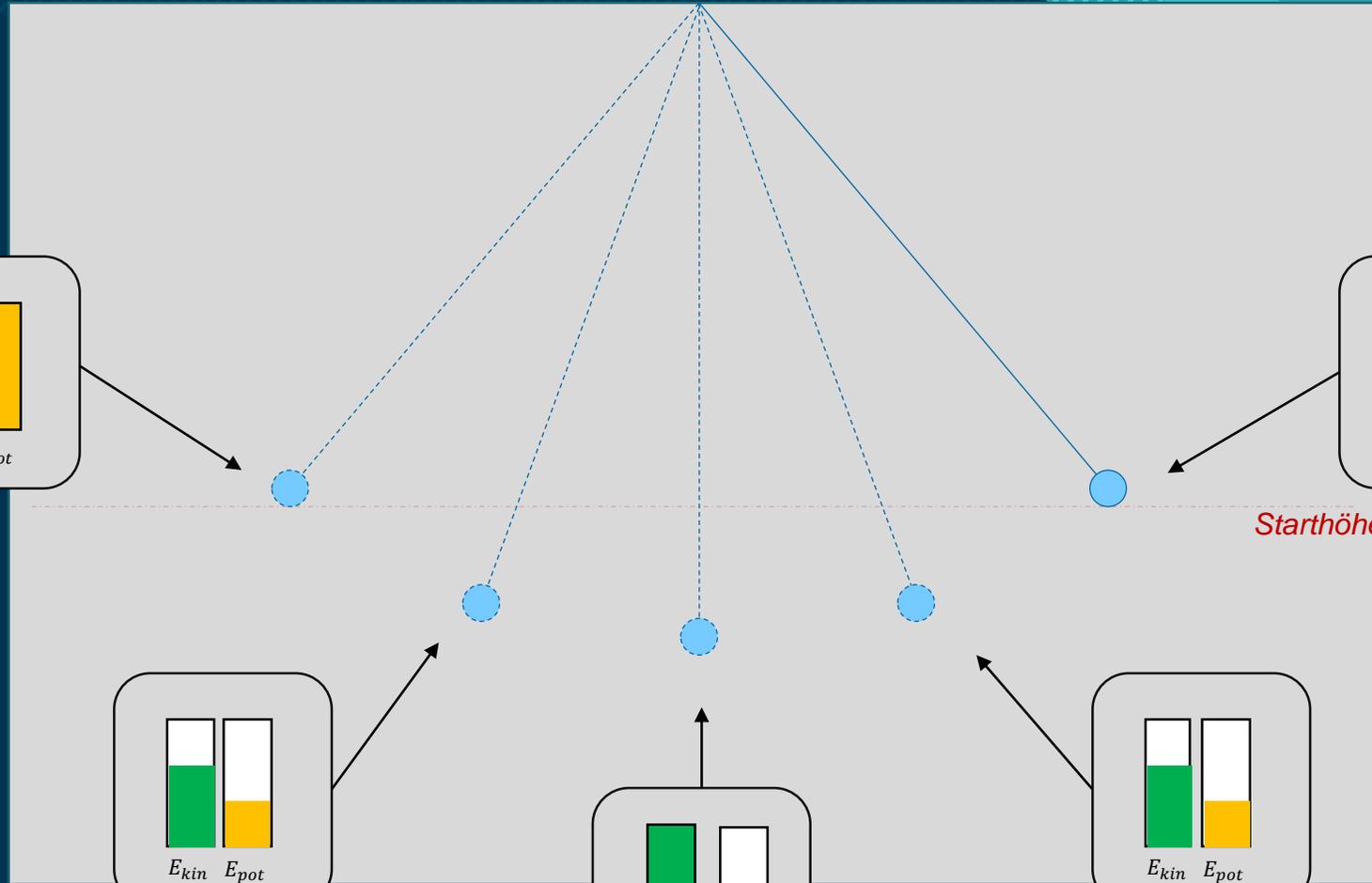
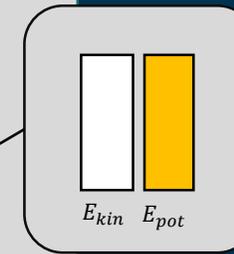
Formelzeichen:  $E_{kin}$

# Veranschaulichung von Energie durch Balkendiagramme

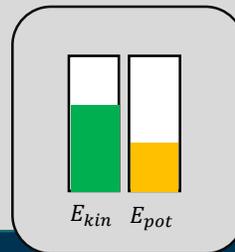
Am höchsten Punkt gegenüber des Startpunktes (Umkehrpunkt) besitzt das Pendel wieder ausschließlich potentielle Energie.



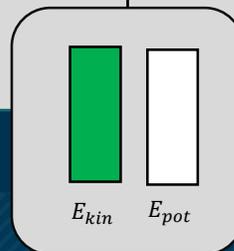
Zum Startzeitpunkt besitzt das Pendel nur potentielle Energie.



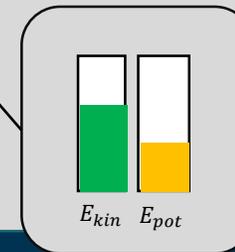
Während das Pendel wieder nach oben schwingt wird die kinetische Energie wieder in potentielle Energie umgewandelt. Das Pendel besitzt kinetische **und** potentielle Energie!



Am tiefsten Punkt besitzt das Pendel ausschließlich kinetische Energie.



Während das Pendel nach unten schwingt wird potentielle Energie in kinetische Energie umgewandelt. Das Pendel besitzt kinetische **und** potentielle Energie!



# Erste Beschreibung von „Energie“

In der nächsten Stunde haben wir noch einmal versucht, ob es uns nicht doch gelingt, „Energie“ etwas anschaulicher zu beschreiben als es Feynman getan hat. Wir hatten uns Bilder angeschaut (Arbeitsblatt 3) und versucht zu beschreiben, was für Effekte die Energie auf den Bildern hat.

## Unsere Formulierungen:

Um Körper zu erwärmen, in Bewegung zu setzen, in die Höhe zu heben, um etwas zum Leuchten zu bringen ... ist Energie nötig.

Sich bewegende Körper, hoch liegende Körper, elastisch verformte Körper, warme Körper besitzen Energie, weil mit ihnen etwas erwärmt, in Bewegung gesetzt, in die Höhe gehoben, ... werden kann.



**Quelle:**

<https://pixabay.com/de/photos/flugzeug-start-flughafen-fliegen-1456714/>



**Quelle:**

[https://de.wikipedia.org/wiki/Linda\\_Stahl#/media/Datei:Linda\\_Stahl\\_Keien\\_Meeting\\_2011.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Linda_Stahl#/media/Datei:Linda_Stahl_Keien_Meeting_2011.jpg)



**Quelle:**

<https://pixabay.com/de/photos/topf-kochendes-wasser-heisses-wasser-883036/>



**Quelle:**

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cf/Str%C3%9Fenlaterne.JPG>

# Verschiede Energieformen

Energie kann in unterschiedlichen Formen vorliegen:

- **Bewegungsenergie (kinetische Energie)**
- **Verformungsenergie (Spannenergie)**
- **Chemische Energie**
- **Thermische Energie/ Innere Energie**
- **Lageenergie (potentielle Energie)**
- **Strahlungsenergie**
- ...

# Bisher hatten wir zwei der vier Eigenschaften von Energie (Energiequadriga) kennengelernt:

## Energieumwandlung

Energie kann die „Erscheinungsform“ ändern. Sie kann von einer Form in eine andere umgewandelt werden.

### Bsp.:

1. Höhenenergie kann sich in Bewegungsenergie umwandeln.
2. Chemische Energie kann (z.B. beim Verbrennen) in Wärmeenergie umgewandelt werden.

## Energieerhaltung (inkl. Energieübertragung)

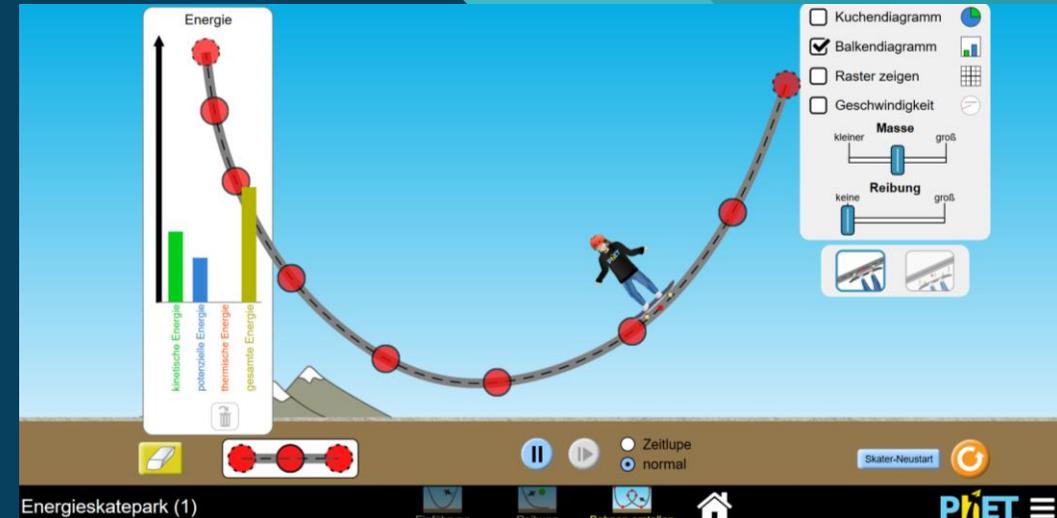
Die Gesamtenergie (eines geschlossenen Systems) nimmt in einem Prozess niemals zu oder ab.

Energie kann umgewandelt werden oder von einem Gegenstand des Systems auf einen anderen übertragen werden. Die Gesamtenergie des Systems bleibt gleich.

Slot 3 [bis jetzt noch nicht freigeschaltet]

Slot 4 [bis jetzt noch nicht freigeschaltet]

# Veranschaulichung der Energieerhaltung und der Balkendiagramm-Darstellung durch die Simulation „Energieskatepark“



Auf der Seite der University of Colorado Boulder finden die Energieskatepark-Simulation und noch andere Simulationen zum Thema auch auf deutsch:

- Energieskatepark: <https://phet.colorado.edu/de/simulation/legacy/energy-skate-park-basics>
- Pendel: <https://phet.colorado.edu/de/simulation/pendulum-lab>
- Energieformen und Energieumwandlung: <https://phet.colorado.edu/de/simulation/energy-forms-and-changes>

# Rückschau: Die physikalische Größe „Arbeit“

Un

Folie kommt noch

# Potentielle Energie

Wenn wir sagen, dass die an einem Körper verrichtete Arbeit der diesem Körper zugeführten Energie entspricht, können wir das mathematisch wie folgt beschreiben:

$$A = E$$

Außerdem gilt  $A = F \cdot s$  (Formel zur Berechnung der Arbeit)

und  $F = m \cdot a$  (Grundgleichung der Mechanik; Newton 2)

Also bekommen wir:

$$E = A = F \cdot s = m \cdot a \cdot s$$

Im Fall der potentiellen Energie müssen wir gegen die Gravitationskraft ( $F_G = m \cdot g$ ) arbeiten und heben einen Gegenstand der Masse  $m$  um eine Höhe  $h$  an.

Also gilt für die potentielle Energie:

$$E_{pot} = m \cdot g \cdot h$$

## Graphische Lösung:

Schauen wir uns ein Kraft-Weg-Diagramm an, dann entspricht die einem Körper zugeführte Energie (die an ihm verrichtete Arbeit) der Fläche unter dem Graphen im F-s-Diagramm.

Bild kommt noch

# Die physikalische Größe Energie

Folie kommt noch

# Kinetische Energie

Wir hatten uns im gemeinsamen Gespräch überlegt, dass die Masse und die Geschwindigkeit eines Gegenstandes eine Rolle spielen müssten, wenn wir die aktuelle kinetische Energie eines Objekts ermitteln wollen.

Bei der Herleitung einer Formel für die kinetischen Energie **mussten wir einen anderen Fall betrachten**. Wir haben den Spezialfall eines Autos betrachtet, das aus dem Stillstand heraus mit einer konstanten Kraft beschleunigt wird. Auch hier gingen wir von unserer Gleichung von der vorigen Folie aus:

$$E = A = F \cdot s = m \cdot a \cdot s$$

Da die Kraft konstant bleibt, bleibt auch die Beschleunigung  $a$  konstant. (Weil dir davon ausgehen, dass sich auch die Masse des Wagens nicht ändert.)

Weil der Wagen aus dem Stillstand beschleunigt wird, können wir auf die Bewegungsgleichungen zurückgreifen, die wir uns im ersten Halbjahr erarbeitet haben:

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

$$\text{und } s(t) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

Setzen wir nun die Formel, die beschreibt, welche Strecke der Wagen nach einer Zeit  $t$  zurückgelegt hat, in unsere Gleichung 1 ein, erhalten wir:

$$E = m \cdot a \cdot s = m \cdot a \cdot \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot a^2 \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (a \cdot t)^2$$

$a \cdot t$  entspricht der Geschwindigkeit, die der Wagen zum Zeitpunkt  $t$  hat. Also können wir schreiben:

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (a \cdot t)^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

# Spannenergie

Als wir uns über eine mögliche Formel für die Spannenergie Gedanken gemacht haben, hatten wir folgendes Problem:

Die Kraft, die für das Ausdehnen (oder zusammenstauchen) einer Metallfeder aufgewendet werden muss, nimmt proportional zur Auslenkung der Feder zu. Die Formel, die diesen Zusammenhang beschreibt, lautet:

$$F = D \cdot s \quad (\text{Hooksches Gesetz})$$

Weil die Kraft nicht über die Strecke der Federauslenkung konstant bleibt, können wir nicht einfach die Formel des Hookschen Gesetzes in die Gleichung 1 einsetzen. Wir mussten stattdessen eine graphische Lösung des Problems suchen und uns das  $F$ - $s$ -Diagramm anschauen.

Die Abhängigkeit der aufzuwendenden Kraft von der Auslenkung wird durch das Hooksche Gesetz beschrieben (Abbildung 1). Für eine konkrete Auslenkung der Feder  $s_0$  wird die Fläche unter dem Graphen im  $F$ - $s$ -Diagramm durch ein Dreieck mit der Grundseite  $s_0$  und der Höhe  $D \cdot s_0$  beschrieben.

Also gilt für die Arbeit, die aufgewendet wird, um die Feder um die konkrete Länge  $s_0$  auszulenken:

$$A = \frac{1}{2} \cdot D \cdot s_0 \cdot s_0 = \frac{1}{2} \cdot D \cdot s_0^2$$

Für die Energie, die in einer gespannten Feder einer beliebigen Auslenkung  $s$  gespeichert ist, beträgt also:

$$E_{\text{spann}} = \frac{1}{2} \cdot D \cdot s^2$$

Bild kommt noch

# Die physikalische Größe Energie: Einheiten umrechnen

Folie kommt noch

# Energieumwandlung und Energieerhaltung mathematisch beschrieben

Wir können die Beschreibung der Energieerhaltung von Folie ??? in eine mathematische Beschreibung übersetzen.

Beschreibung der Energieerhaltung durch Worte	Mathematische Beschreibung der Energieerhaltung	Mathematische Beschreibung der Energieerhaltung für den Fall, das nur potentielle und kinetische Energie vorliegen
Die Gesamtenergie eines (geschlossenen) Systems ist zu unterschiedlichen Zeitpunkten (1 und 2) gleich.	$E_{Gesamt,1} = E_{Gesamt,2}$	$E_{Gesamt,1} = E_{Gesamt,2}$ $\underbrace{E_{pot,1} + E_{kin,1}} = \underbrace{E_{pot,2} + E_{kin,2}}$

# Energieumwandlung und Energieerhaltung mathematisch beschrieben: Das Pendel

Wenn wir die Masse des Pendels und die Höhe des Startpunktes wissen, können wir die Geschwindigkeit des Pendels an seinem tiefsten Punkt berechnen.

**Beschreibung der Energieerhaltung durch Worte**

Die Gesamtenergie besteht zu Anfang ausschließlich aus der potentiellen Energie (Zeitpunkt 1).  
Am tiefsten Punkt der Pendelbewegung hat sich die potentielle Energie komplett in kinetische Energie umgewandelt (Zeitpunkt 2).

**Mathematische Beschreibung der Energieerhaltung**

$$E_{pot,1} = m \cdot g \cdot h$$

$$E_{kin,1} = 0$$

$$E_{pot,2} = 0$$

$$E_{kin,2} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

**Mathematische Beschreibung der Energieerhaltung für den Fall, das nur potentielle und kinetische Energie vorliegen**

$$E_{Gesamt,1} = E_{Gesamt,2}$$

$$E_{pot,1} + E_{kin,1} = E_{pot,2} + E_{kin,2}$$

$$\underbrace{m \cdot g \cdot h}_{\text{potentielle Energie}} + \underbrace{0}_{\text{kinetische Energie}} = \underbrace{0}_{\text{potentielle Energie}} + \underbrace{\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2}_{\text{kinetische Energie}}$$

$$m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Die potentielle Energie des Pendels zum Zeitpunkt 1 ...

... entspricht ...

... der kinetische Energie des Pendels zum Zeitpunkt 2.

# Eigenschaften von Energie (Energiequadriga):

## Energieumwandlung

Energie kann die „Erscheinungsform“ ändern. Sie kann von einer Form in eine andere umgewandelt werden.

### Bsp.:

1. Höhenenergie kann sich in Bewegungsenergie umwandeln.
2. Chemische Energie kann (z.B. beim Verbrennen) in Wärmeenergie umgewandelt werden.

## Energieentwertung

Energie geht zwar nicht verloren, sie wandelt sich jedoch so in andere Energieformen um, dass der Mensch sie nicht mehr nutzen kann. Um diesen Prozess zu beschreiben sprechen wir von Energieentwertung.

Bsp.: Lässt sich eine Fahrradfahrerin den Berg hinabrollen, wandelt sich die anfängliche potentielle Energie in kinetische und thermische Energie um. Die thermische Energie kann von der Fahrerin nicht verwendet werden.

## Energieerhaltung (inkl. Energieübertragung)

Die Gesamtenergie (eines geschlossenen Systems) nimmt in einem Prozess niemals zu oder ab.

Energie kann umgewandelt werden oder von einem Gegenstand des Systems auf einen anderen übertragen werden. Die Gesamtenergie des Systems bleibt gleich.

## Energietransport (inkl. Energiespeicherung)

Verschiede Energieformen können auf unterschiedlichen Wegen von einem Ort zu einem anderen transportiert werden.

### Bsp.:

1. Der Transport von Kohle oder Öl (chemische Energie)
2. Der Transport von elektrischer Energie mithilfe unseres Stromnetzes

# Darstellungsformen von Energie und Übertragungsprozessen

Energie kann in unterschiedlichen Arten vorliegen:

- „Prosa“: Wir beschreiben den Prozess und die Energiezustände mit Worten (Fachbegriffen).

*„Zu Beginn besitzt das Pendel durch seine Auslenkung nur potentielle Energie. Während es nach unten schwingt, wird die potentielle Energie in kinetische Energie umgewandelt. Am tiefsten Punkt der Pendelbewegung hat sich die gesamte potentielle Energie in kinetische Energie umgewandelt.“*

- Formeln: Wir beschreiben den Prozess und die Energiezustände mit Zahlenwerten, Einheiten und Formeln

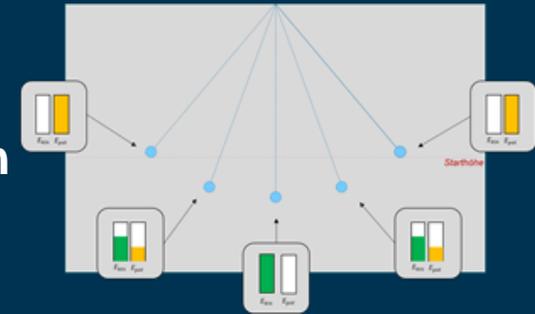
$$E_{pot,1} = m \cdot g \cdot h \quad \& \quad E_{kin,1} = 0$$

$$E_{pot,2} = 0 \quad \& \quad E_{kin,2} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

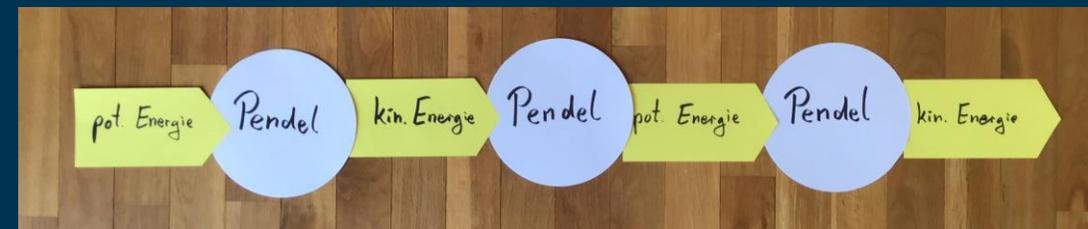
$$E_{pot,1} + E_{kin,1} = E_{pot,2} + E_{kin,2}$$

$$m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

- Balkendiagramme: Wir visualisieren die Energiezustände zu bestimmten Zeitpunkten oder an bestimmten Orten mit Balken



- Energieflussdiagramme



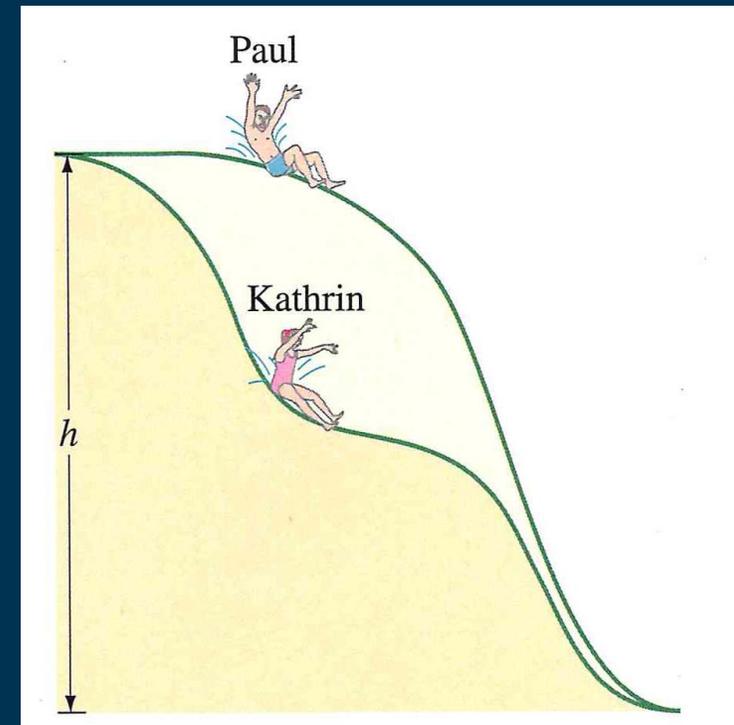
# Weiterdenken mit dem Konzept Energie

## Zwei Fragen zu einem Bild:

Wir hatten uns im Unterricht nebenstehendes Bild angeschaut. Es zeigt zwei Wasserrutschen, die verschiedene Formen haben, aber gleich lang sind. Wir stellten uns zwei Fragen:

1. Hat Paul oder Kathrin die größere Geschwindigkeit, wenn sie unten ankommen? Oder haben sie die gleiche Geschwindigkeit?
2. Ist Paul oder Kathrin schneller unten? (Meint: Wer benötigt weniger Zeit, um vom Startpunkt nach unten zu rutschen?)

*Wir überprüften unsere Vermutungen mit der Hot Wheels-Bahn.*



Quelle: Giancoli Physik – Gymnasiale Oberstufe: S. 113 (2011)

# Weiterdenken mit dem Konzept Energie

## Wer hat unten die größere Geschwindigkeit?

Diese Frage konnten wir mit unserem bisherigen Wissen und unseren bisherigen Denkweisen schnell klären:

*Es gilt der Energieerhaltungssatz und wenn wir hatten in Übungsaufgabe 2) herausgefunden, dass die Masse sich bei solchen Rechnungen rauskürzt.*

*Bei Vernachlässigung von Reibung (bzw. Energieentwertung) haben beide die gleiche Geschwindigkeit, wenn sie unten ankommen.*

## Wer braucht länger um unten anzukommen?

Diese Frage mussten wir etwas ausführlicher diskutieren und es fiel uns gar nicht so leicht, den Grund sauber zu formulieren:

*Wenn wir uns die Kurvenverläufe genau ansehen, stellen wir fest, dass sich Kathrin ständig auf einer niedrigeren Höhe als Paul befindet. Das bedeutet, dass sie ihre potentielle Energie früher in kinetische Energie umgewandelt hat. Sie rutscht auf dem gesamten Weg mit einer höheren Geschwindigkeit als Paul - bis auf das Ende, an dem Paul schließlich dieselbe Geschwindigkeit erreicht. Wenn Kathrin (abgesehen von Start- und Endpunkt) eine höhere Geschwindigkeit besitzt, muss sie auch schneller unten angekommen sein, da die beiden Strecken gleich lang sind.*

# Und jetzt ... ... zur nächsten Phase

Fehlende Inhalte werden möglichst bald ergänzt.