


ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Das Konzept der mechanischen Energie besser verstehen - mit kognitiv aktivierenden Lernformen

Herbert Rubin



A blue-tinted photograph of a large, classical-style building with a prominent dome and arched windows, likely a part of the ETH Zurich campus, set against a light sky.

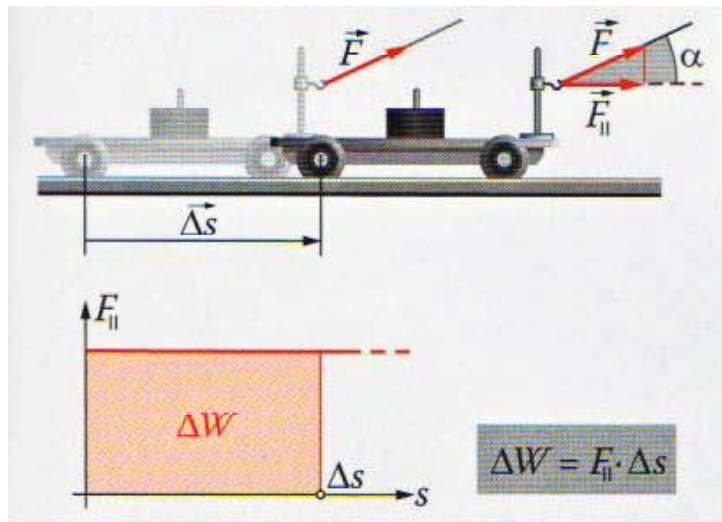
**Nur verstandene Physik macht
wirklich Spass!**

Was ist eine Erhaltungsgrösse?

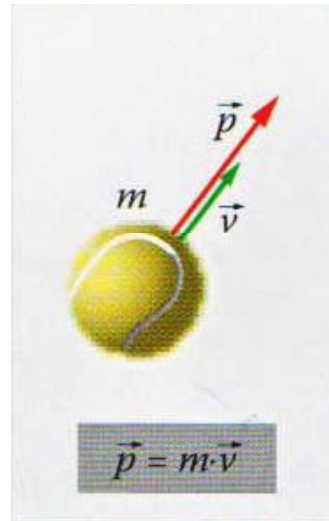
In der Mechanik gibt es drei besonders wichtige physikalische Grössen, nämlich:

- Die physikalische **Arbeit** W , die an einem Körper verrichtet wird bzw. dessen **Energie** E
- Die Translationsgrösse **Impuls** p eines geradlinig bewegten Körpers
- Die Rotationsgrösse **Drehimpuls** L eines rotierenden Körpers

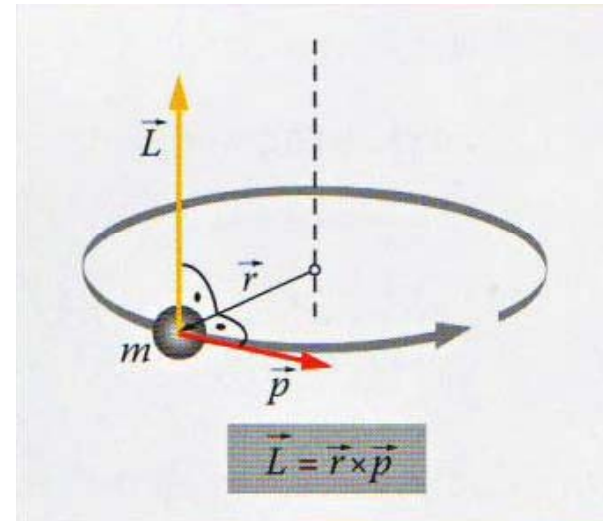
Veranschaulichung:



Arbeit

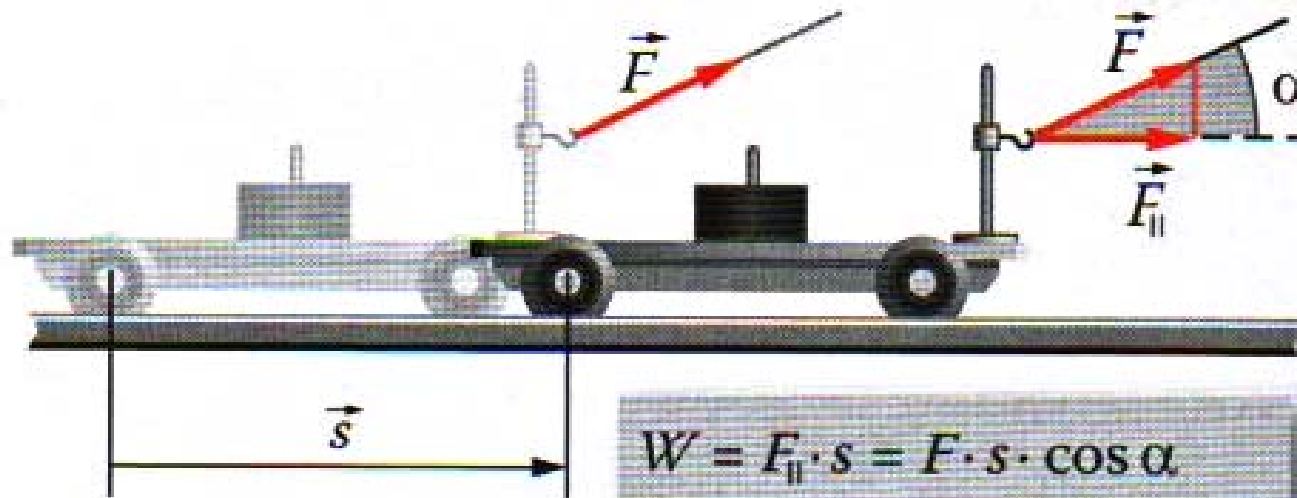


Impuls



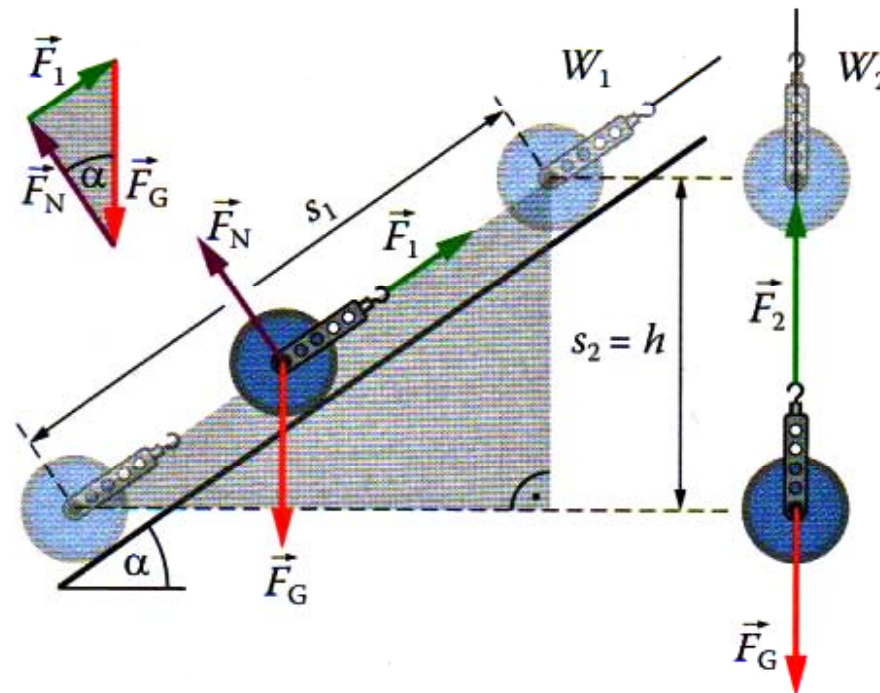
Drehimpuls

Arbeit:



Definition der physikalischen Arbeit

Verallgemeinerung:



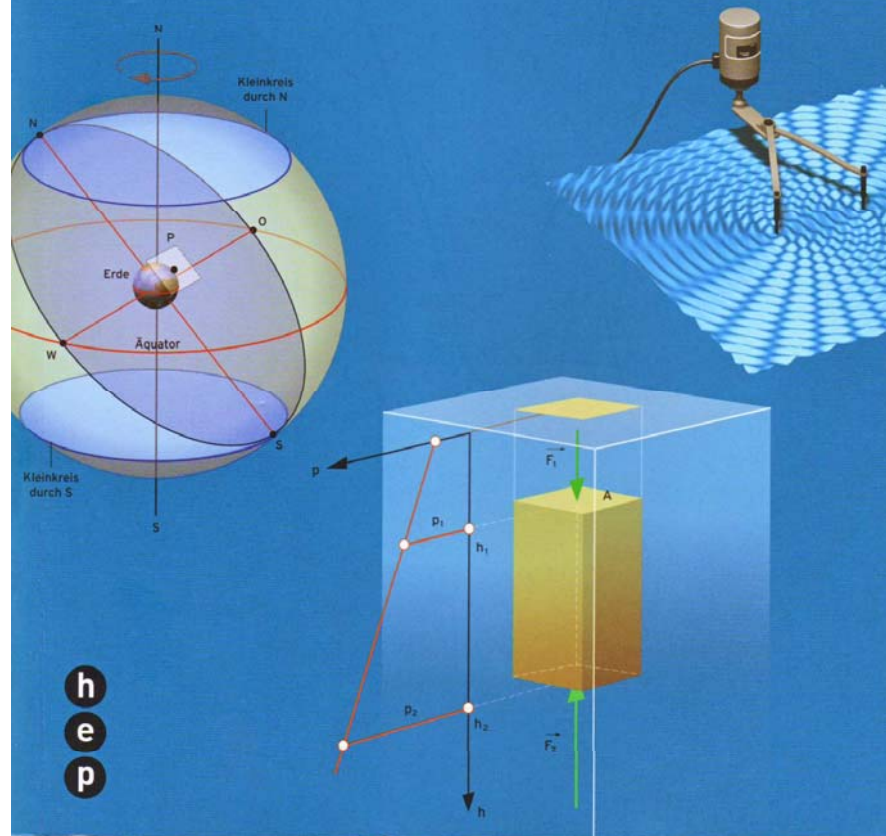
Bierfass auf Rampe

Merksatz:

Arbeit = Kraft mal Weg

$$W = \vec{F} \cdot \vec{s} = \underbrace{F_{\parallel}}_{F \cdot \cos \alpha} \cdot s = F \cdot s \cdot \cos \alpha, \quad [W] = \text{Nm}$$

Physik für Mittelschulen



MINT

Mathematik-Informatik-Naturwissenschaft-Technik

Ins Zentrum rückt die Vorstellungswelt
der Schülerinnen und Schüler

- Anschlussfähige und nicht anschlussfähige Schülervorstellungen (Fehlvorstellungen, Misskonzepte) analysieren
- Schülervorstellungen mit einbeziehen
- Die Misskonzepte und Fehler konstruktiv nutzen
- Schülergerechter Aufbau der Lerninhalte (Stoffdidaktik vs. lehr- lernforschungsbasierte Didaktik)



Neue Lernmethoden der Lehr und Lernforschung

Den Aufbau intelligenten Wissens unterstützen
Kognitiv aktivierende Lernformen

- Die Wissensgrenzen vor Augen führen
- Vorhandene Misskonzepte konstruktiv nutzen
- Anleitungen zur Bildung von Selbsterklärungen
- Metakognitives Training
- Aufträge zum forschenden Lernen



Didaktische Aspekte

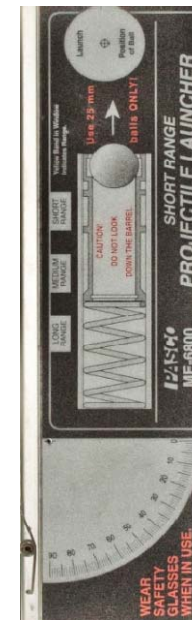
Von der üblichen Fachsystematik zu
verständnisorientiertem Unterricht

- Von einfachen Grundphänomenen ausgehen, welche die Schülerinnen und Schüler noch nicht erklären können
- Erkenntnisse aus naheliegenden Fragestellungen ableiten (Formalisierung en passant)
- Aufträge zur Vertiefung und Reflexion des eigenen Wissensstandes
- Neue Themenbereiche jeweils aus offenen Fragestellungen entwickeln

Gezielte Fragen zur Aufdeckung von Schülervorstellungen und Misskonzepten

Beispiel:

Mit einem kleinen Wurfapparat wird ein Kügelchen senkrecht nach oben abgeschossen.





Fragestellungen

Weshalb erreicht die Kugel nur eine bestimmte Höhe?

- Die Kraft, welche die Feder auf die Kugel übertragen hat, wird aufgebraucht.
- Die Energie, welche die Feder auf die Kugel übertragen hat, wird aufgebraucht.
- Die Bewegungsenergie der Kugel wandelt sich beim Aufsteigen in Lageenergie um.
- Die innere Kraft der Kugel nimmt mit zunehmender Höhe ab. Sobald sie kleiner als die Schwerkraft geworden ist, fällt die Kugel wieder hinunter.



Inhaltlicher Aufbau der Lerneinheit

Die Fragen bestimmen den Aufbau:

- Was ist mechanische Energie?
- Wie lässt sie sich berechnen?
- Wie kommt es zu Energieumwandlungen?
- Was versteht man unter Energieerhaltung?
- Wie kann sich die Energie ändern?
- Was ist mechanische Arbeit und was ist Leistung?
- Was geschieht bei Wechselwirkungen von Körpern?
- Energie reicht nicht aus! Was braucht es noch?
- Auftrag zum forschenden Lernen

Sequenz 1: Was ist mechanische Energie?

Aktivierung des Vorwissens und Veranschaulichung des Phänomens

- Trägheit → Bewegungsenergie
- Körper anheben → Lageenergie
- Feder spannen → Spannenergie

Sequenz 1: Was ist mechanische Energie?

Häufig anzutreffende Fehlvorstellungen

- Zur Aufrechterhaltung einer Bewegung ist ein ständiger Antrieb notwendig.
- Bewegte Körper haben Energie, ruhende Körper nicht.
- Energie wird mit Kraft verwechselt.
- Energie wird erzeugt und wieder verbraucht.

Sequenz 1: Was ist mechanische Energie?

Selbsterklärungsaufträge

- Eine einmal auf glatter, horizontaler Unterlage angestossene Kugel rollt beinahe ungebremst in der vorgegebenen Richtung weiter. Erkläre dieses Verhalten auf zwei Arten. Einmal mit dem Konzept der Trägheit und einmal mit dem Konzept der Energie.
- Dein Klassenkamerad versteht nicht, weshalb der Briefbeschwerer auf seinem Schreibtisch mechanische Energie haben soll. Wie würdest du ihm das erklären?

Sequenz 1: Was ist mechanische Energie?

Aufträge für metakognitive Fragen

- Leuchtet dir der Zusammenhang zwischen Trägheitsprinzip und Energiekonzept ein? Hast du das so gut verstanden, dass du es jemandem erklären könntest?
- Hast du verstanden, warum solche Fälle, in denen zum Beispiel eine angestossene Kugel nach einer Weile zum Stillstand kommt, mit dem physikalischen Konzept der Trägheit vereinbar sind? Was ist dir ggf. daran noch unklar?
- Welche Begriffe und Zusammenhänge wurden nach deiner Meinung im Unterricht noch nicht ausreichend behandelt?

Sequenz 2: Formale Aspekte

Wie kann die Energie berechnet werden?

Beispiel Fallhammer

Wovon hängt die *Wirkung* ab?

- Masse m
- Fallhöhe h
- Gravitation g



Fallhammer aus dem 18. Jahrhundert aus Nabburg in der Oberpfalz (Bayern), wie er zur Münzprägung benutzt wurde.

$$W_L = m \cdot g \cdot h$$

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

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

Sequenz 3: Energieumwandlungen

Eine erstaunliche Entdeckung Galileis:

Wie schnell ist die Kugel am Ende der Bahn?

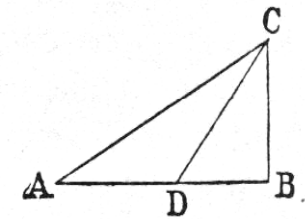
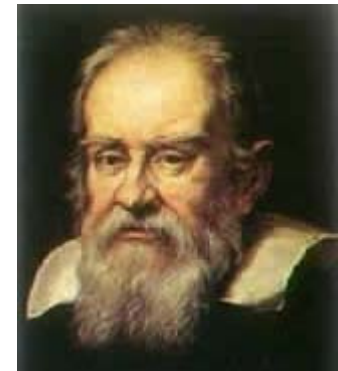
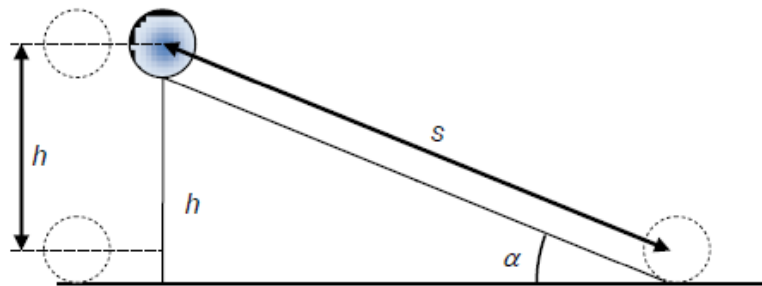


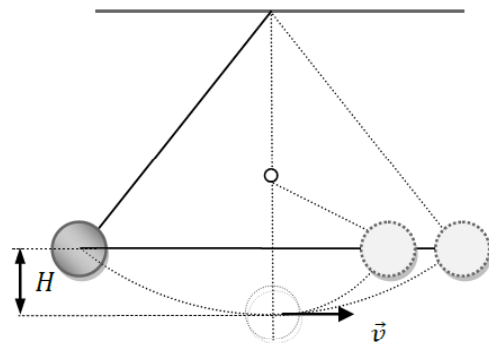
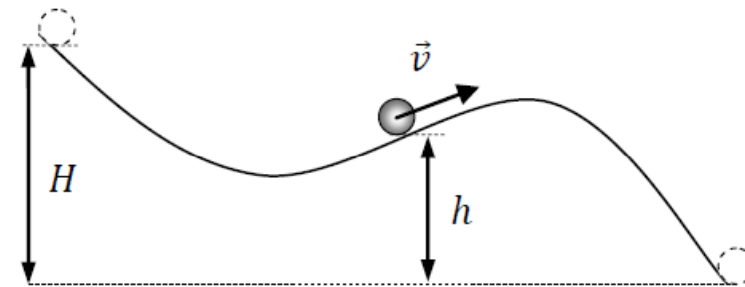
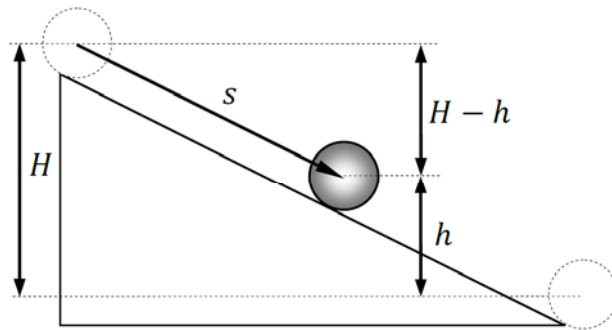
Fig. 44.

$$v = \sqrt{2 \cdot a \cdot s} = \sqrt{2 \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot \frac{h}{\sin \alpha}} = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Galileo Galilei 1638 in seinem Werk *Unterredungen und Mathematische Demonstrationen über zwei neue Wissenszweige, die Mechanik und die Fallgesetze betreffend*.

Sequenz 4: Energieerhaltung

Was geschieht zwischen Anfangs- und Endpunkt?



$$E_0 = m \cdot g \cdot H = m \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$





Aufträge I

Selbsterklärungen:

- Grundbegriffe und Zusammenhänge
- Gezielte Integration neuer Informationen in das Vorwissen
- Fehlvorstellungen
- Perspektivübernahme



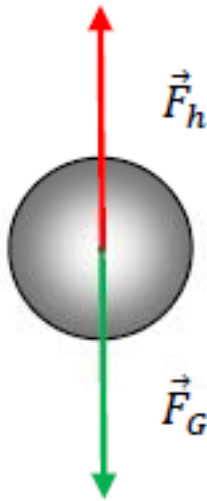
Aufträge II

Metakognitives Training:

- Hast du die Konzepte gut verstanden?
- Was hast du noch nicht verstanden?
- Was kannst du tun, um die Sache besser zu verstehen?
- Was wurde im Unterricht noch nicht genügend behandelt?

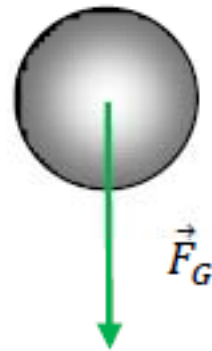
Aufträge II: Forschendes Lernen

Ein mechanisches Paradoxon?



$$\vec{F}_{res} = \vec{F}_h + \vec{F}_G = \vec{0}$$

$$W = \vec{F}_{res} \cdot \vec{s} = 0$$



$$\vec{F}_{res} = \vec{F}_G \neq \vec{0}$$

$$W = \vec{F}_{res} \cdot \vec{s} = \vec{F}_G \cdot \vec{s} \neq 0$$

Durch periodisches Anheben und Fallenlassen kann nach jedem Zyklus Energie gewonnen werden:

$$\Delta E_i = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Ist das wirklich möglich?

ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

