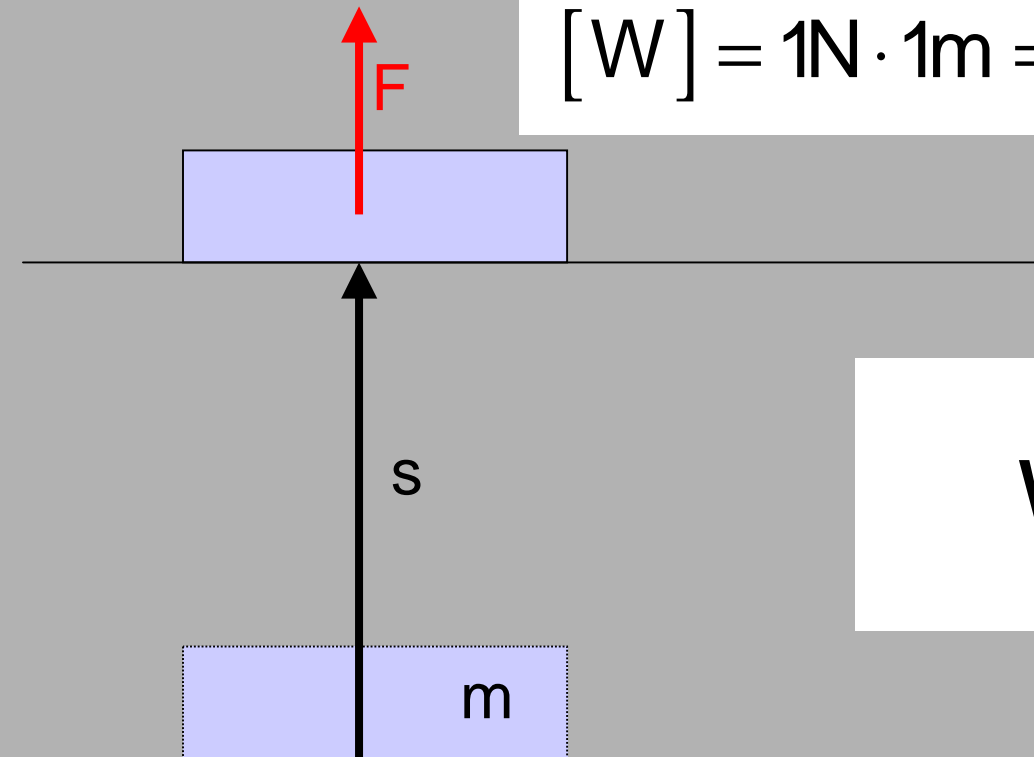




Hubarbeit

$$W = \mathbf{F} \cdot \mathbf{s}$$

$$[W] = 1\text{N} \cdot 1\text{m} = 1\text{Nm} = 1\text{J} \quad \text{"Joule"}$$



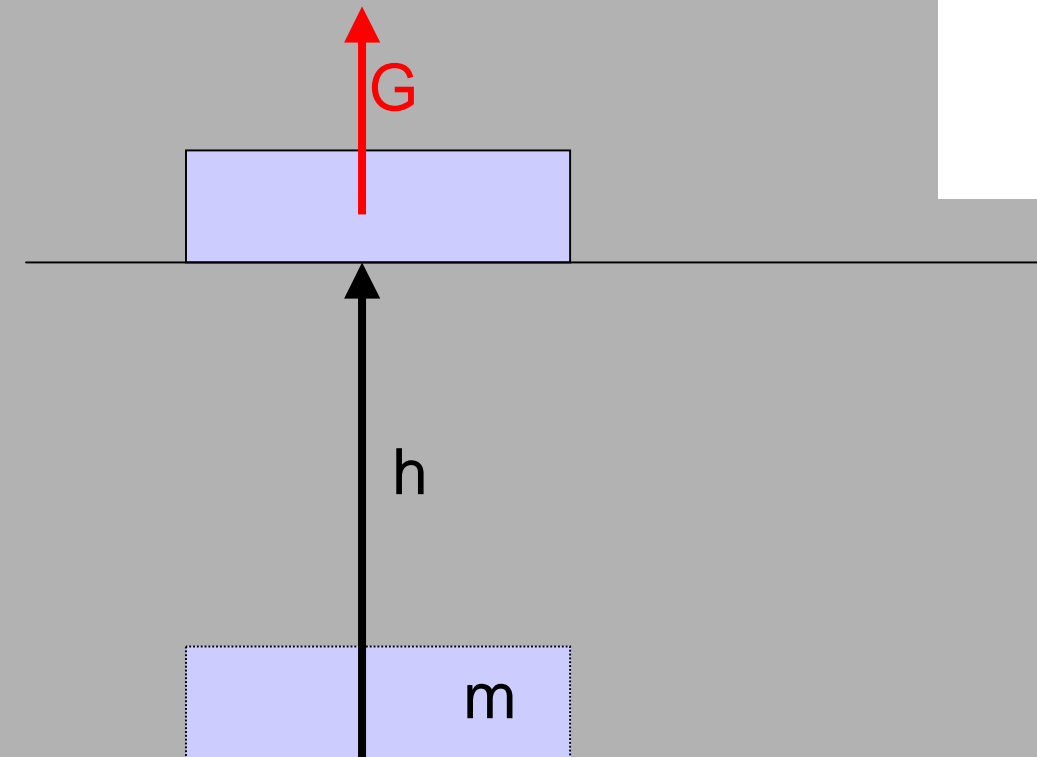
$$W = \mathbf{F} \cdot \mathbf{s}$$



Hubarbeit

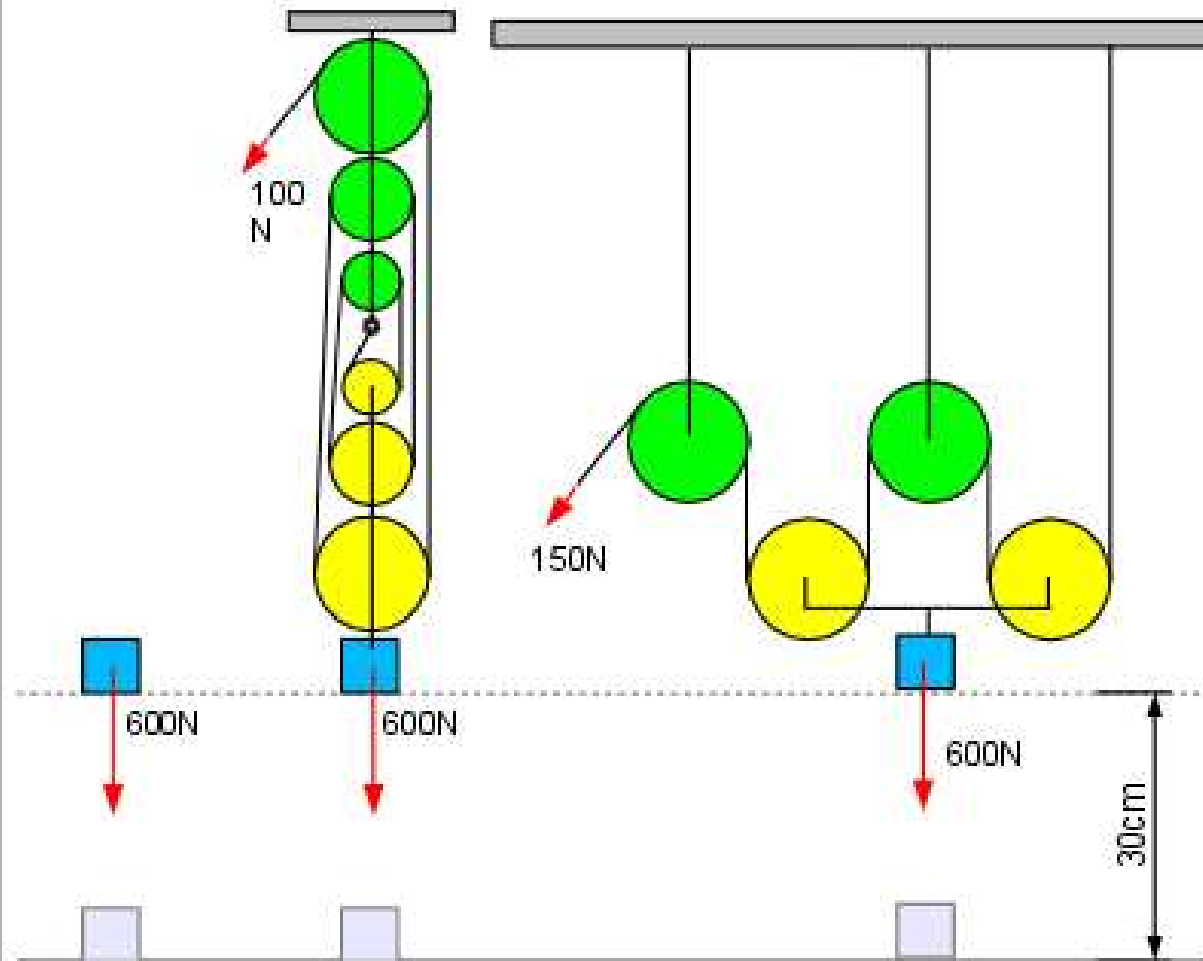
$$W = G \cdot h$$

$$W = m \cdot g \cdot h$$





Mechanische Arbeit



$$\begin{aligned}
 W_1 &= 600\text{N} \cdot 0,3\text{m} \\
 &= 180\text{Nm} = 180\text{J}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_2 &= 100\text{N} \cdot 1,8\text{m} \\
 &= 180\text{Nm} = 180\text{J}
 \end{aligned}$$

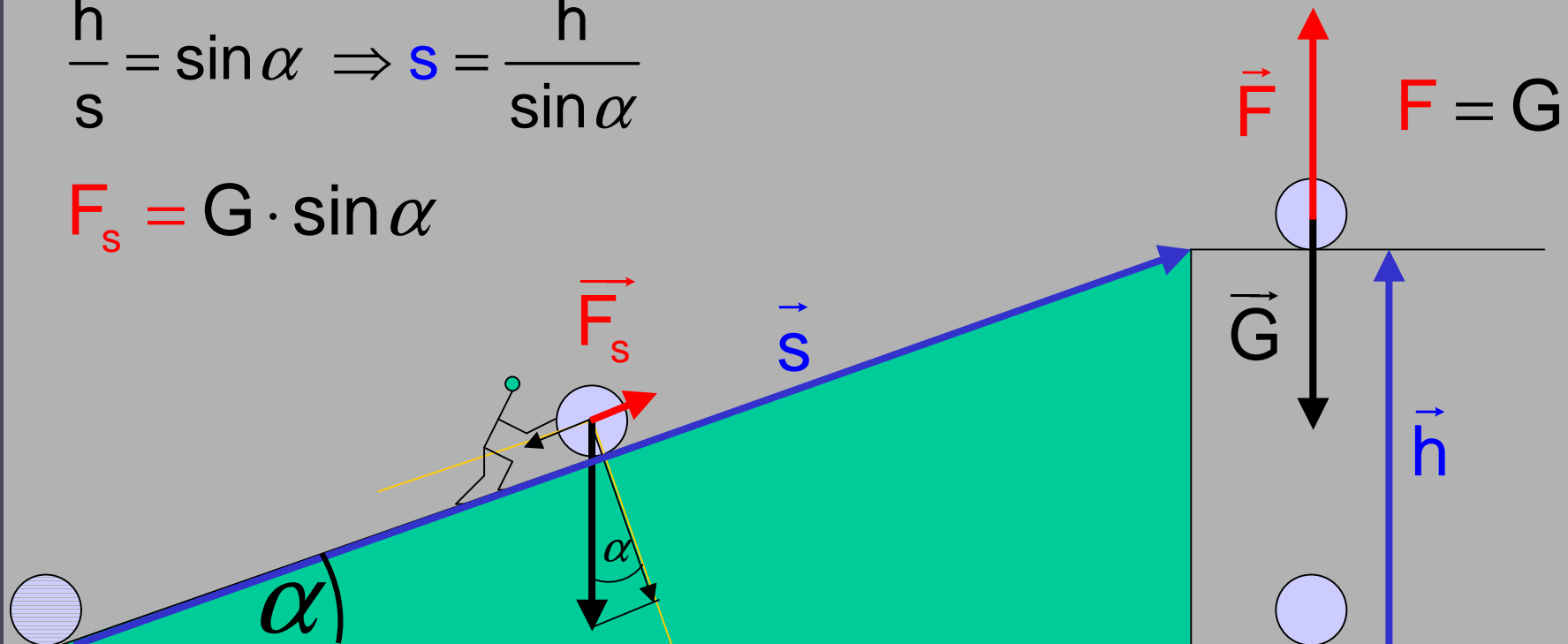
$$\begin{aligned}
 W_3 &= 150\text{N} \cdot 1,2\text{m} \\
 &= 180\text{Nm} = 180\text{J}
 \end{aligned}$$

Mechanische Arbeit

Die Mechanische Arbeit ist das Produkt aus der Kraftkomponente F_s längs des Wegs und dem zurückgelegten Weg s

$$\frac{h}{s} = \sin \alpha \Rightarrow s = \frac{h}{\sin \alpha}$$

$$F_s = G \cdot \sin \alpha$$

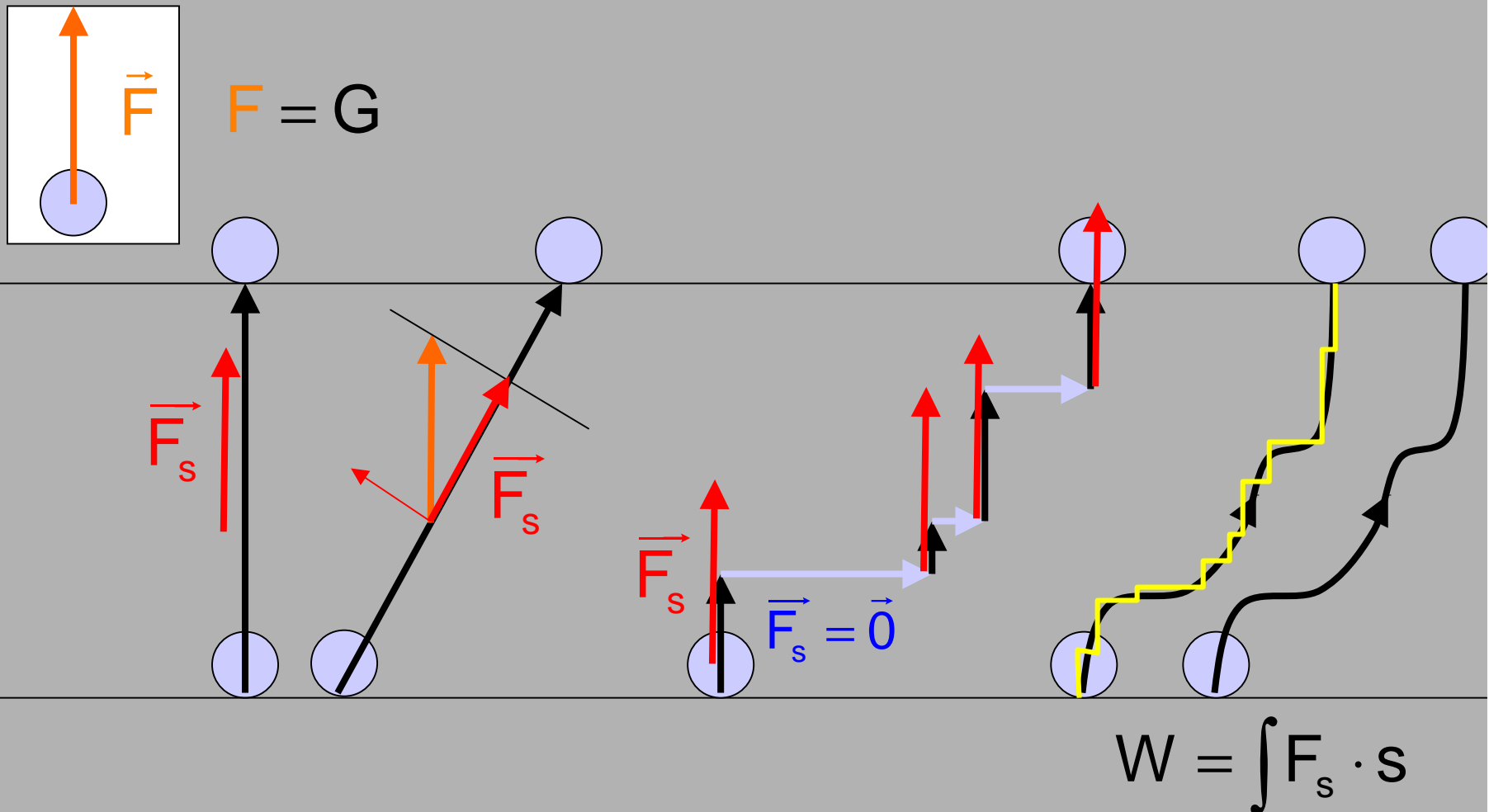


$$W = G \cdot \sin \alpha \cdot \frac{h}{\sin \alpha} = G \cdot h$$

$$W = G \cdot h$$

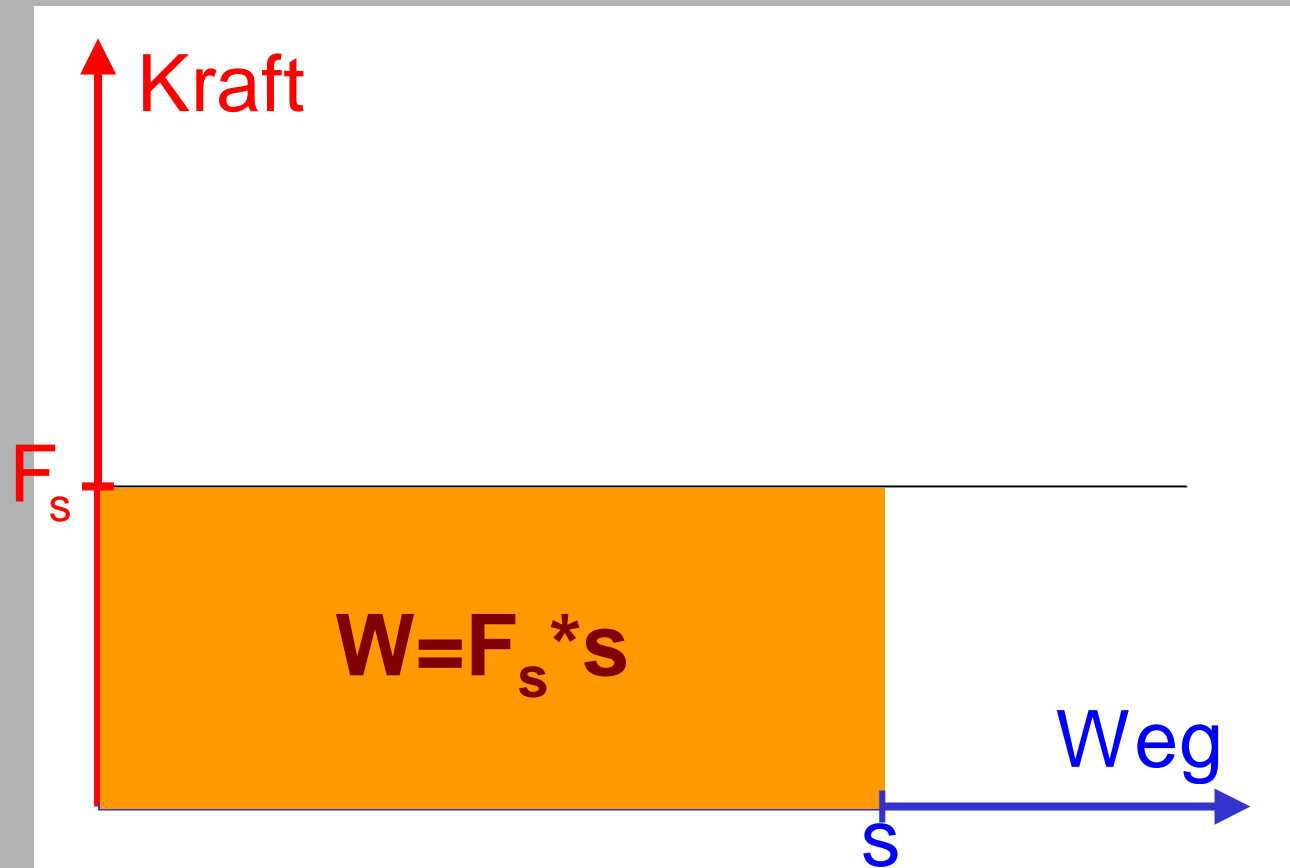
Mechanische Arbeit

Die Mechanische Arbeit ist das Produkt aus der Kraftkomponente F_s längs des Wegs und dem zurückgelegten Weg s





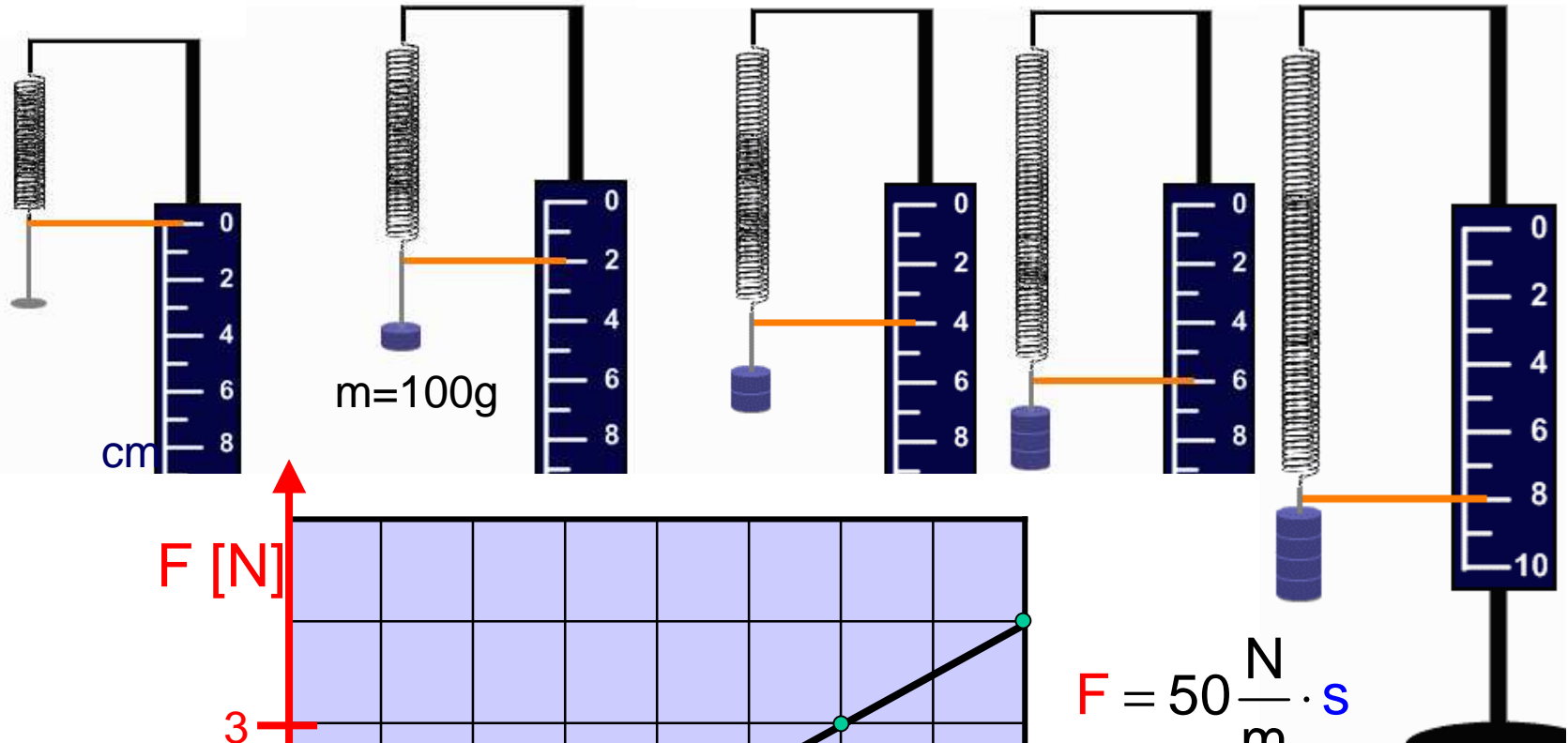
Kraft-Weg-Diagramm



Die mechanische Arbeit entspricht gerade der Fläche unter dem Kraft-Weg-Diagramm.

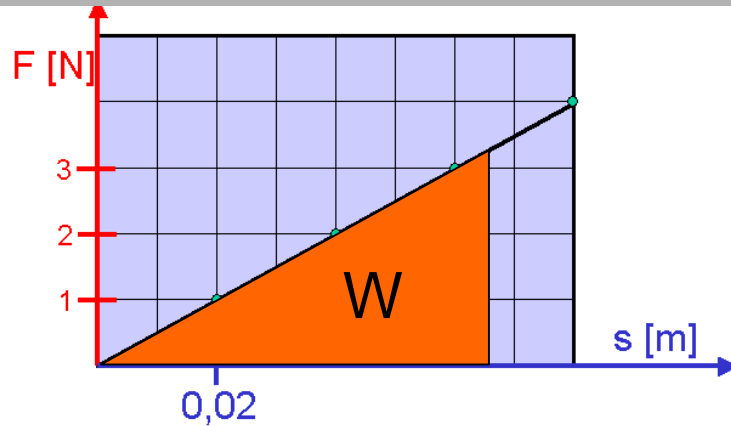


Das Hookesche Gesetz



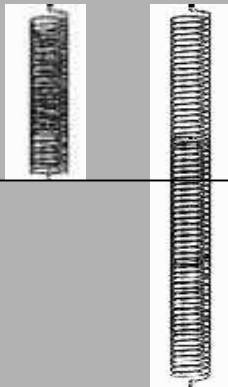


Spannarbeit an einer Schraubenfeder



$$F = 50 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot s$$

$$= D \cdot s$$



$s = 6,5 \text{ cm}$

$$W = \frac{1}{2} \cdot 0,065 \text{ m} \cdot 50 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot 0,065 \text{ m}$$

$$\approx 0,11 \text{ Nm}$$

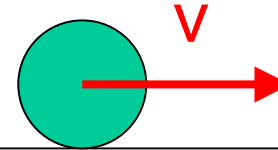
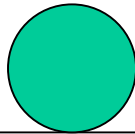
$W = ?$

$$W = \frac{1}{2} \cdot D \cdot s^2$$



Beschleunigungsarbeit

$$v_0 = 0$$



gleichförmig beschleunigte Bewegung:

$$W = F_s \cdot s$$

$$= m \cdot a_s \cdot s$$

$$= m \cdot a_s \cdot \frac{1}{2} a_s \cdot t^2$$

$$v = a_s \cdot t$$

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



Beschleunigungsarbeit

$v = 265 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

91,5m

Katapult: (USS Nimitz)
max. 48000 lbs \approx 21800kg

Weights (Massen)

Basic operating weight (Einsatz-Leermasse): 10810 kg

Take-off, fighter escort mission (Startmasse, Begleitschutz-Einsatz): approx. 16650 kg

Take-off, attack mission (Startmasse, Angriffseinsatz): approx. 23543 kg

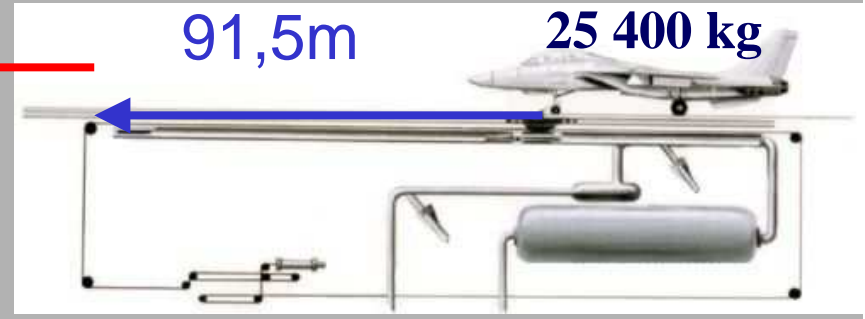
Max. take-off weight (Max. Startmasse): approx. 25 400 kg

Thrust (Schub): 2 x 78,3 kN



Beschleunigungsarbeit

$$v = 265 \frac{\text{km}}{\text{h}} \approx 73,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



Thrust (Schub): 2 x 78,3 kN

$$W = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 25400 \text{kg} \cdot 73,6^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$\approx 68,8 \text{ MJ}$$

$$P_1 = \frac{W_1}{t} = \frac{68,8 \text{ MJ}}{2 \text{ s}} \approx 34,4 \text{ MW}$$

Katapult: in $\Delta t = 2 \text{ s}$

max. 48000 lbs $\approx 21800 \text{ kg}$

von $v = 0$ auf $v = 73,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

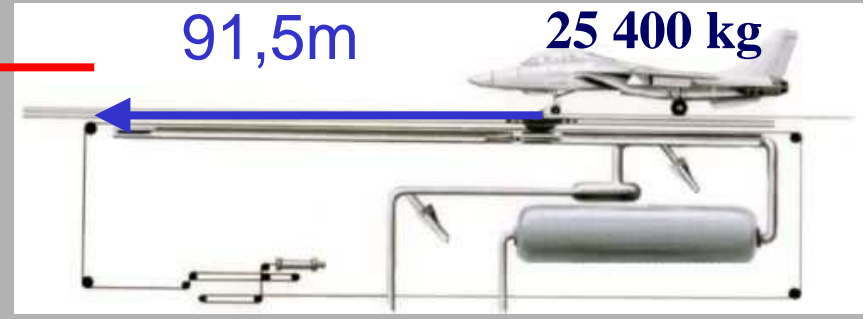
$$a = \frac{v}{t} \approx \frac{73,6}{2} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 36,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$s = \frac{1}{2} a \cdot t^2$$



Beschleunigungsarbeit

$$v = 265 \frac{\text{km}}{\text{h}} \approx 73,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



Thrust (Schub): 2 x 78,3 kN

$$W_T = F_s \cdot s = 156600 \text{ N} \cdot 91,5 \text{ m} \\ \approx 14,33 \text{ MJ}$$

$$W_{K_{\max}} = F_s \cdot s \\ = 21800 \text{ kg} \cdot 36,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 91,5 \text{ m} \\ \approx 73,4 \text{ MJ}$$

Katapult: in $\Delta t = 2 \text{ s}$

max. 48000 lbs $\approx 21800 \text{ kg}$

von $v = 0$ auf $v = 73,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

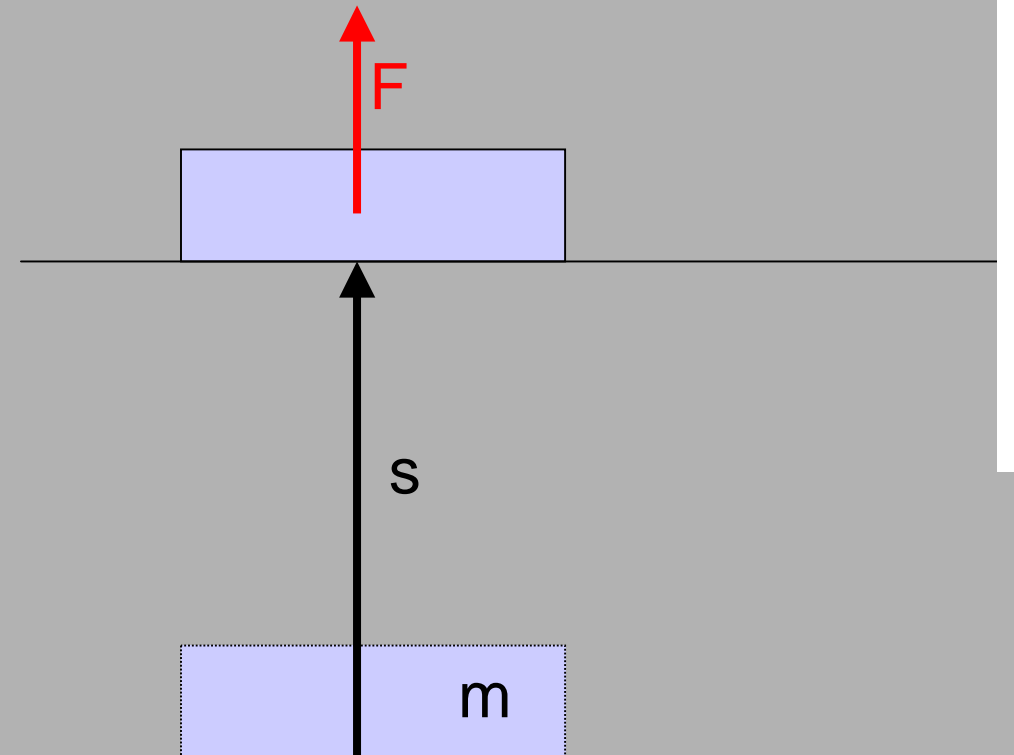
$$a_{k_{\max}} = \frac{v}{t} \approx \frac{73,6}{2} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 36,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$



Energie

Definition: Energie ist gespeicherte Arbeit

$$W = F \cdot s$$



Der angehobene Körper besitzt jetzt eine potenzielle Energie

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



kinetische Energie



$m = 12\,400\text{ kg}$

$$v = 2800 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

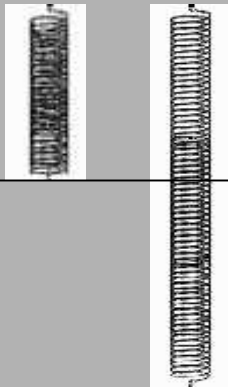
$$E_{\text{kin}} \approx \frac{1}{2} \cdot 12400\text{kg} \cdot 777,8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \approx 4,82\text{ MJ}$$



Spannenergie

$$F = 50 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot s$$
$$= D \cdot s$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot 0,065\text{m} \cdot 50 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot 0,065\text{m}$$
$$\approx 0,11 \text{ Nm}$$



$s=6,5\text{cm}$

Die gedehnte Feder besitzt eine
Spannenergie

$$E=0,11 \text{ J}$$

$$E = ?$$

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



Pumpspeicherwerk Herdecke



Nutzbarer Inhalt: 1.550.000 m³
Fallhöhe: 165,2 m bis 145,5 m
Pumpbetrieb: 101,7 m³/s
Turbinenbetrieb: 110 m³/s

Leistung
im Turbinenbetrieb: 153 MW

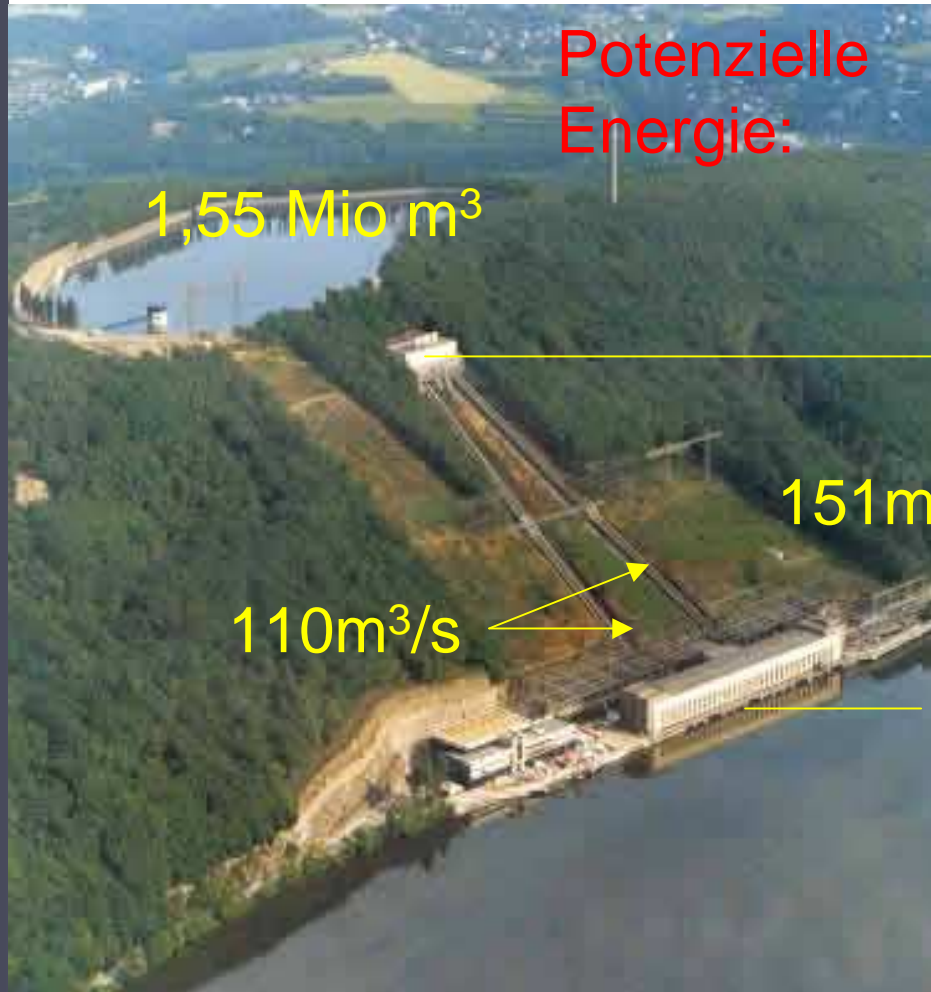
Energieinhalt des
Oberbeckens: 649.000 kWh

Elektrisch nutzbarer
Arbeitsinhalt: 590.000 kWh

Wirkungsgrad: 75 %



Pumpspeicherwerk Herdecke



Potenzielle
Energie:

$$\begin{aligned}
 E &= 1,55 \cdot 10^{10} \text{ N} \cdot 151 \text{ m} \\
 &\approx 2,34 \cdot 10^{12} \text{ J} \quad 1 \text{ J} = 1 \text{ Ws} \\
 &\approx 6,49 \cdot 10^8 \text{ Wh} \\
 &\approx \mathbf{649000 \text{ kWh}}
 \end{aligned}$$

Mechanische Leistung:

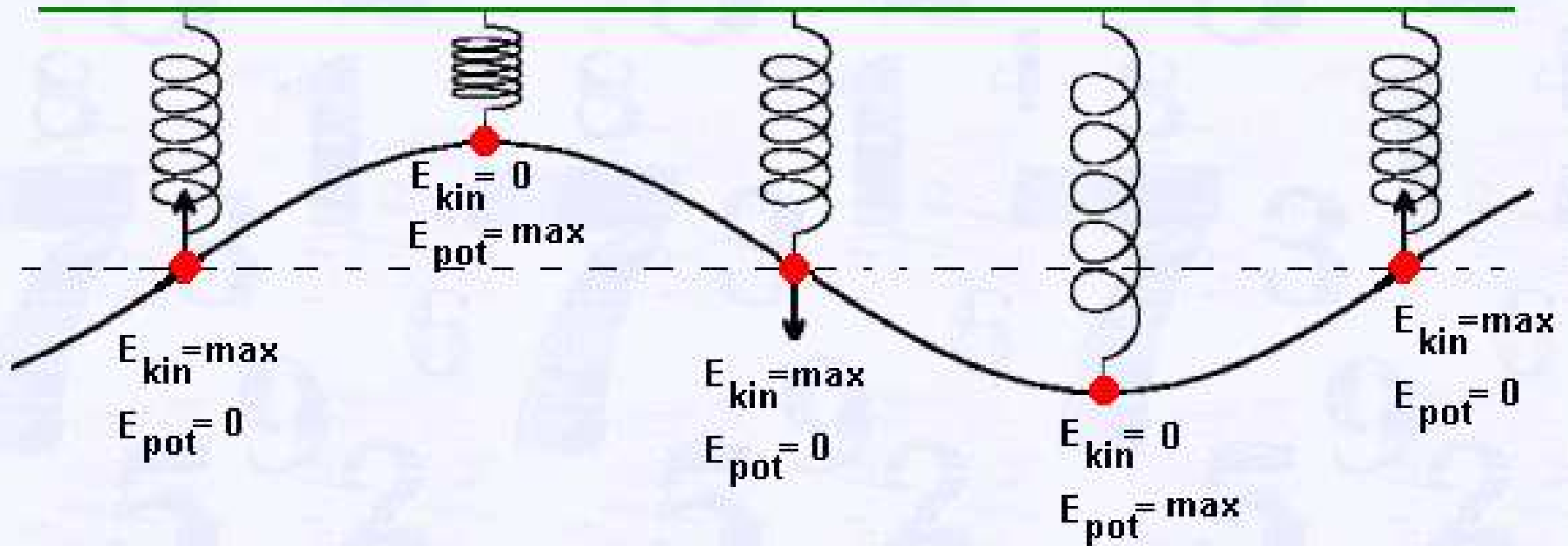
$$\begin{aligned}
 P &\approx 1,11 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{s}} \cdot 151 \text{ m} \\
 &\approx 168 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

Nutzbare Leistung:

$$P \approx 153 \text{ MW}$$



Umwandlung von Energien



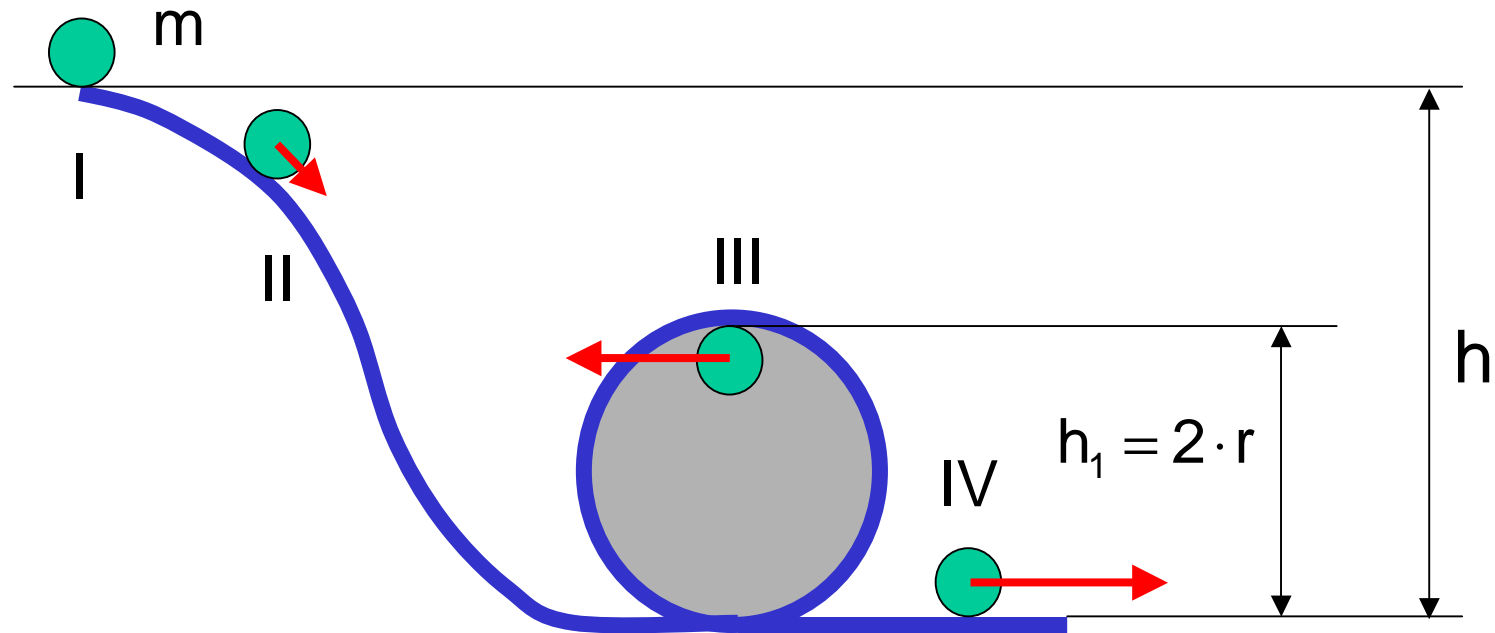


Looping





Aufgabe 1 (Looping)



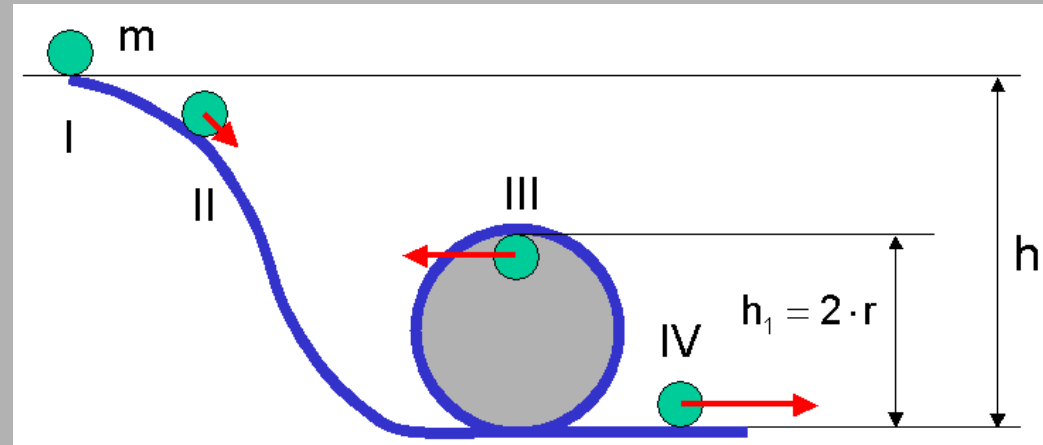
Eine Kugel gleitet (idealisiert) reibungsfrei entlang der Loopingbahn. Wie groß muss die Höhe h mindestens sein, damit die Kugel in der Position III nicht herunter fällt ?

Aufgabe 1 (Lösung)

$$E_1 = mgh$$

$$E_2 = mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2$$

$$E_3 = mg(2r) + \frac{1}{2}mv_3^2$$



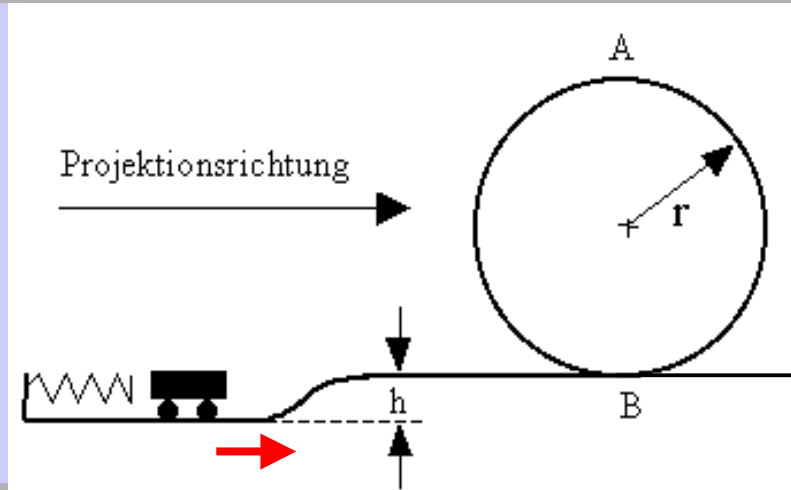
$$\text{Grenzfall } F_z = G \Rightarrow \frac{mv_3^2}{r} = mg \Rightarrow v_3^2 = rg$$

$$E_1 = E_3 \Rightarrow mgh = 2mgr + \frac{1}{2}mgr$$

$$h = 2r + \frac{1}{2}r = \frac{5}{2}r$$

Aufgabe 2 (Looping)

Ein Wagen der Masse m soll eine vertikale Kreisbahn vom Radius r durchlaufen (Reibung wird vernachlässigt). Bei den folgenden Teilaufgaben soll allgemein gerechnet werden.



- Wie groß muss die Geschwindigkeit v_A im höchsten Punkt A der Kreisbahn sein, damit der Wagen gerade noch auf der Kreisbahn bleibt?
- Wie groß ist dann die Geschwindigkeit v_B im tiefsten Punkt B der Kreisbahn?
- Wie stark muss eine Feder der Härte D zusammengedrückt werden, damit der Wagen die Kreisbahn gerade noch durchläuft?