

AUSGABE 4

ERHALTUNGSSÄTZE

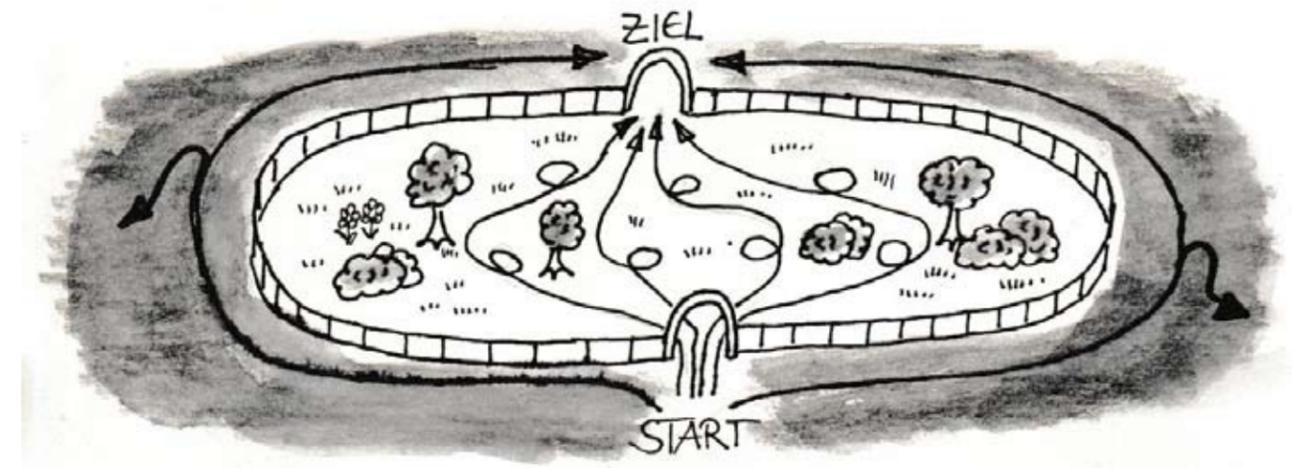


DEN PLANET SCHULE
MIT PHYSIK SCHON
VOR DEM ABITUR
VERLASSEN

OTTO KRAZ

Erhaltungssätze

im physikalisch kollaborativen Improvisationsgarten



schneller - sicherer - effektiver

Das Heft mit dem



INHALT



QR-Codes in diesem Heft

Dieses Heft besitzt zwei Ebenen.

Erstens die Zeichnungen, Beschreibungen und die Idee des Heftes als echtes Workbook.

Zweitens meine Erläuterungen als früherem Physikschullehrer an einem Gymnasium, der fast 40 Jahre lang junge Menschen wie euch durch alle Klassen bis zum Physikabitur begleitet hat. Diese Erläuterungen habe ich auf meinen Soundcloud-Account

hochgeladen. <https://soundcloud.com/krazondemand>

Die richtigen Audio-Dateien für die entsprechenden Seiten dort zu finden wäre aber sehr umständlich. Deshalb sind die Seiten im Heft mit einem QR-Code verknüpft, hinter der sich die Adresse der richtigen Audiodatei auf Soundcloud versteckt.

Heinz Bayer alias Otto Kraz (mein pädagogischer Künstlername)

Wichtig: Der richtige QR-Code Scanner:

Wer im App Store oder bei Google Play „QR Scanner“ eingibt, der bekommt eine riesige Menge von kostenlosen Scannern vorgeschlagen. Darunter sind leider sehr viele, die einen beim Scannen lieber auf Werbeseiten leiten als auf die im Code hinterlegte Webseite.

Hier deshalb eine kleine Anleitung:

Auf den meisten neueren Smartphones und Tablets versteckt sich hinter der Kamera auch ein integrierter QR-Scanner, der beim Richten der Linse auf den QR-Code die Adresse angibt, auf die

man dann einfach klicken muss.

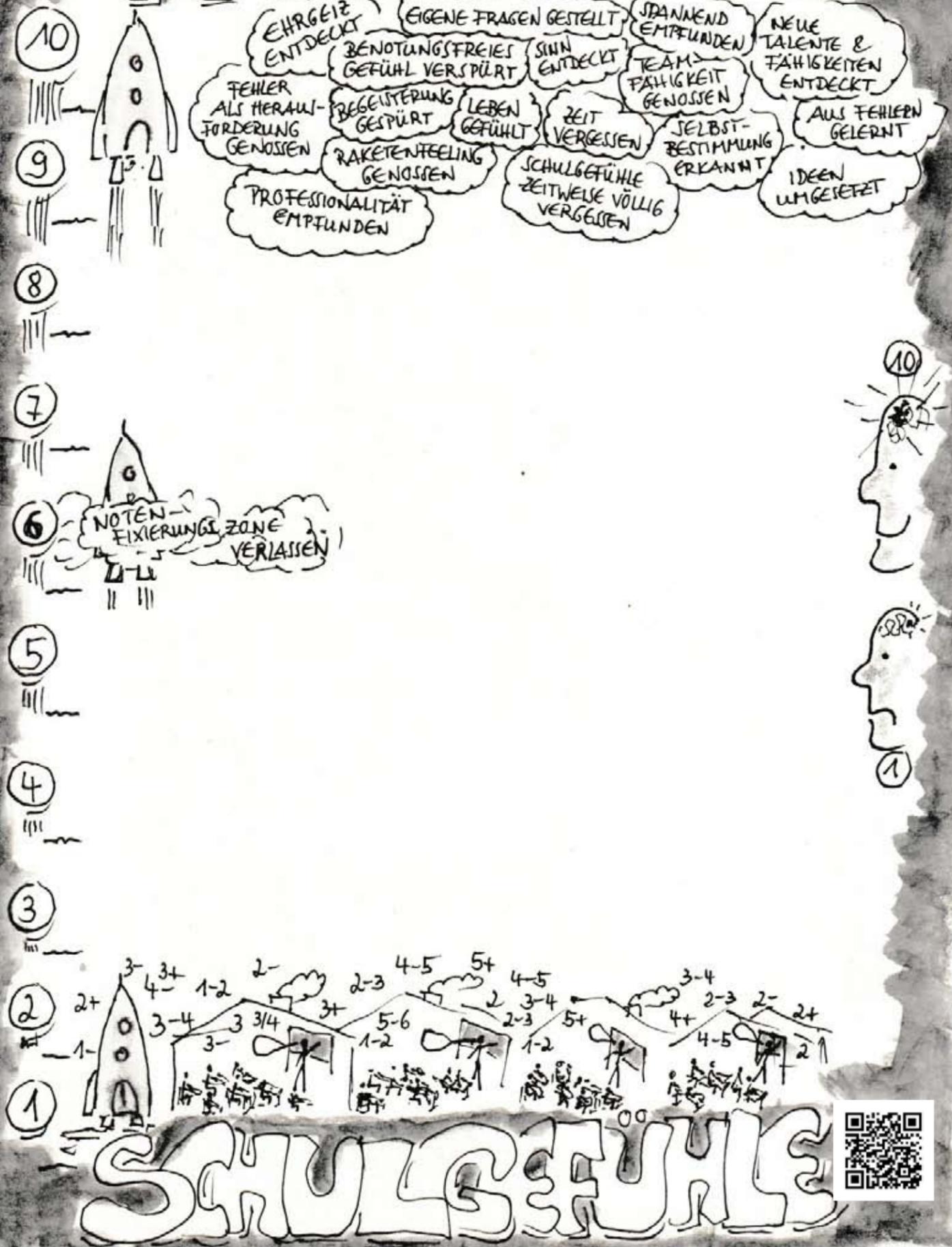
Gute QR-Scanner Apps leiten sofort auf die Seite weiter.

Ein Klick weniger

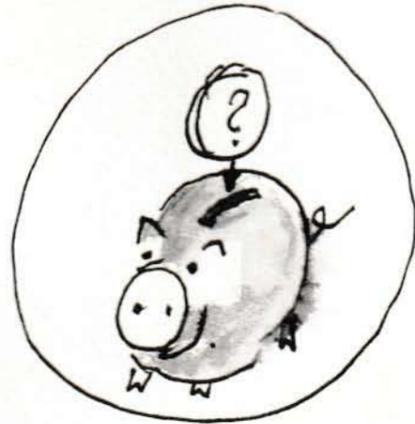
Mein Tipp: Mit der Kamera ausprobieren. Und wenn du einen QR Scanner auf dem Smartphone hast, dann probiere hier unten auf der Seite einmal aus, ob du direkt zu der Audiodatei kommst. Sie heißt „Dynamik3“. Wenn nicht, dann empfehle ich den QR Scanner von Kaspersky.

Der warnt dich gleich noch vor gefährlichen QR Codes.

RAKETENGEFÜHLE



ENERGIE



DU MUSST DRINGEND ENERGIE SPAREN



ENERGIE-EXPORT

ENERGIE-ERHALTUNG

ENERGIE-SPEICHERUNG

ENERGIE-ÜBERTRAGUNG

ENERGIE-UMWANDLUNG

ENERGIEWENDE

ENERGIEBILANZ

ENERGIE-VERLUST

ENERGIEPASS

HEIZENERGIE

ENERGIEABGABE

ALTERNATIVENERGIE

ENERGIE-MINISTERIUM

NIEDRIG-ENERGIE-HAUS

REGENERATIVE ENERGIE

WINDENERGIE

WASSERKRAFTWERK

SOLARENERGIE

ENERGIEPREISE

KERNENERGIE

ENERGIEBERATER

ENERGIEFRESSER

ENERGIEMIX

ENERGIENETZ

ENERGIEDRINK

ENERGIEKRISE

ENERGIELÜCKE

ENERGIENOTSTAND

BIOENERGIE

WÄRMEENERGIE

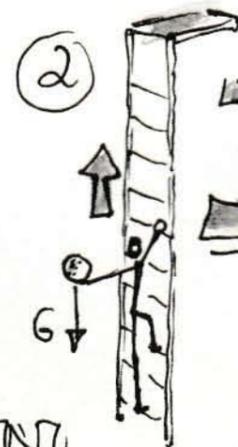
ENERGIEPARK

ENERGIEPREIS

PHYSIKALISCHE ARBEIT ?

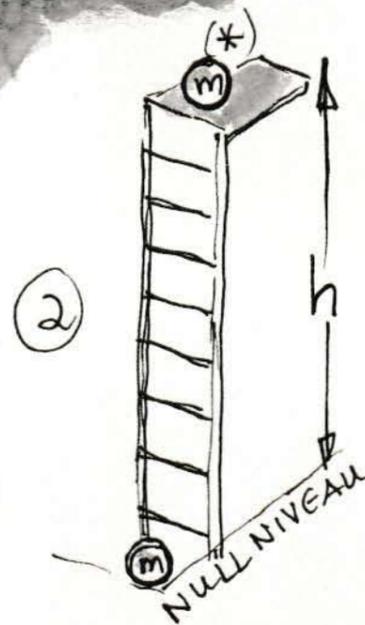


NO

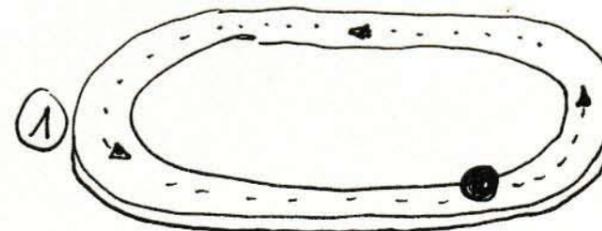


JAWOLL

DENN



(*) DIE MASSE m , AN DER HUBARBEIT VERRICHTET WURDE, BESITZT ETWAS, DAS ES BEI ① NICHT GIBT. AUCH WENN MAN DIE MASSE 100 MAL IM KREIS HERUMTRÄGT, ABER DIE HÖHE NICHT ÄNDERT.

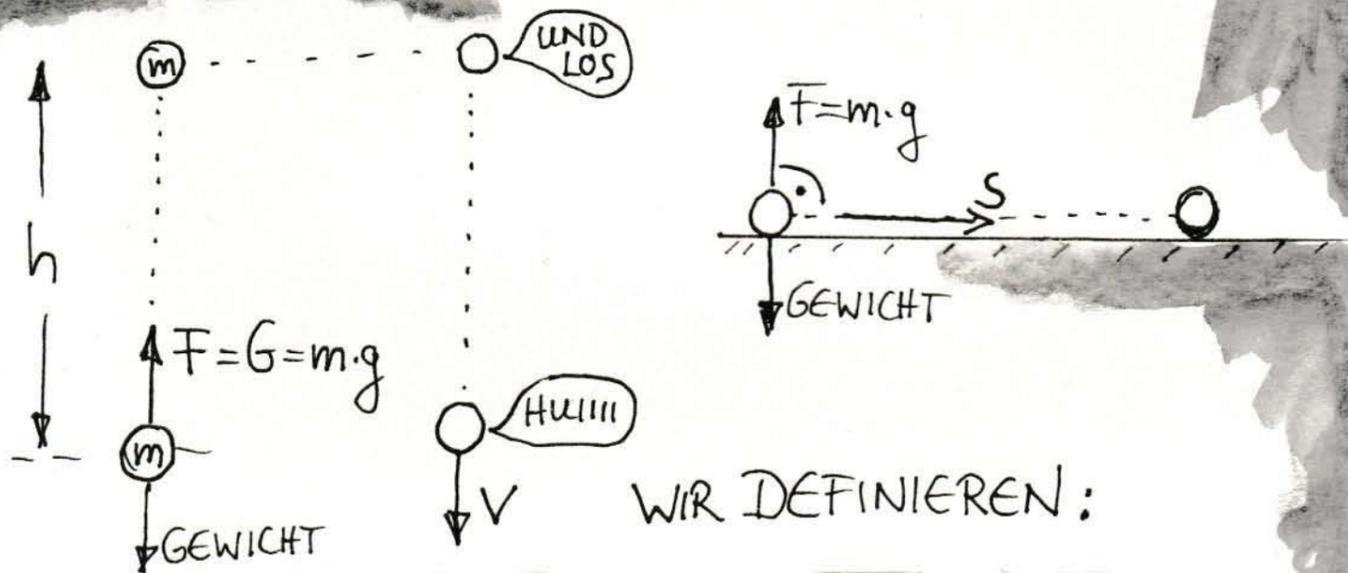


MAN SIEHT ES NICHT, ABER MAN KANN ZEIGEN, DASS ES DA IST...

NE IDEE ?



DER UNTERSCHIED



ARBEIT = KRAFT · WEG

BENÖTIGT
EINE EINHEIT:

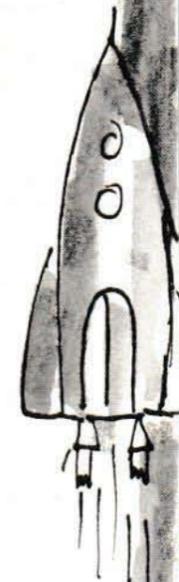
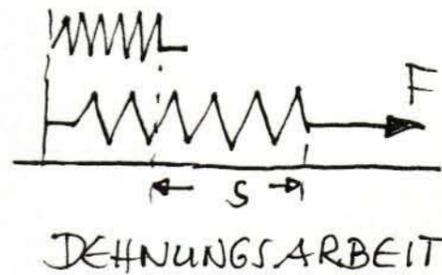
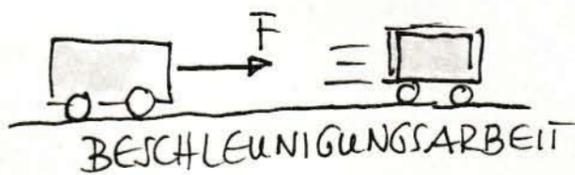
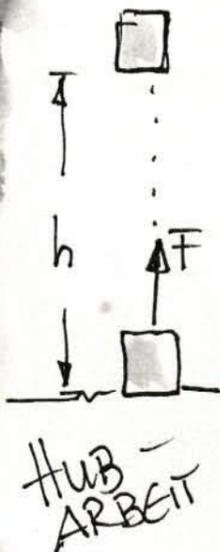
JOULE

$$1\text{J} = 1\text{N} \cdot 1\text{m} = 1\text{Nm}$$

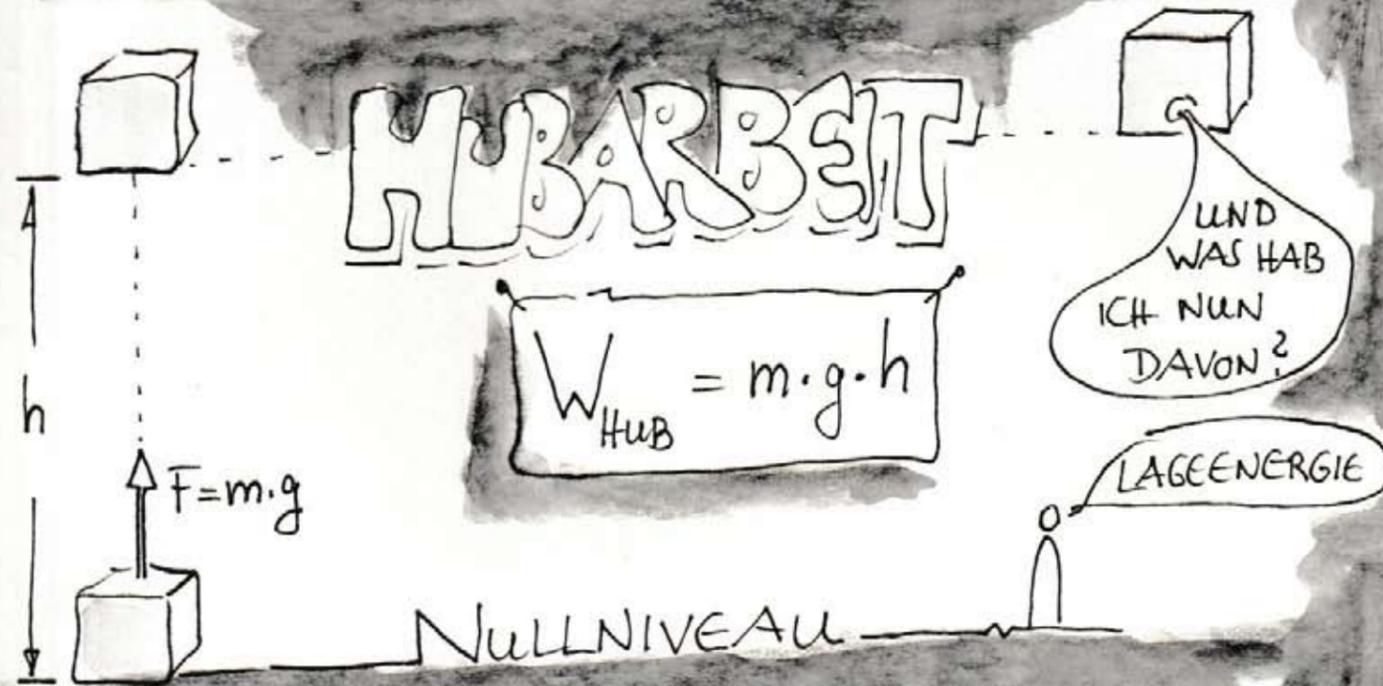
RICHTUNG
MUSS GLEICH SEIN!
NEWTON · METER

ALSO
KRAFT · WEG

DISKUTIERE UNTERSCHIEDE



PLÄNE



LAGEENERGIE

$$E_{\text{LAGE}} = m \cdot g \cdot h \quad \text{BEZÜGLICH DES NULLNIVEAUS}$$

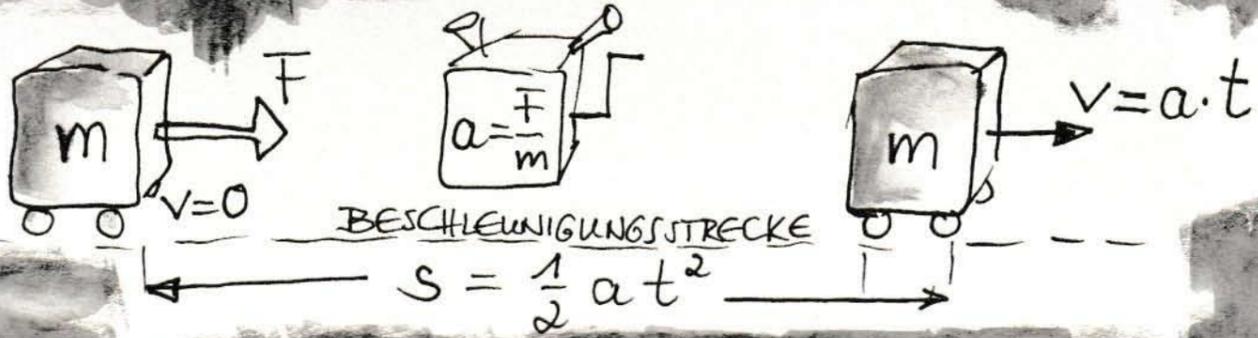
STECKT MAN HUBARBEIT IN DAS SYSTEM ERDE-MASS, DANN WIRD SIE ALS LAGEENERGIE GESPEICHERT

A diagram showing a cube at a height of 1m. An upward arrow is labeled $F = m \cdot g = 1 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 10 \text{ N}$. Below the cube, it is labeled '1kg'. To the right, the calculation is shown: $E_{\text{LAGE}} = 10 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} = 10 \text{ J} = 10 \text{ Joule}$.

Zur Einschätzung:
Ein Smartphonenutzer verbraucht
jährlich ca 50 kWh Energie
 $= 50 \cdot 1000 \cdot 3600 \text{ W} \cdot \text{s} = 180\,000\,000 \text{ J} \cdot \text{s}$
 $= 180 \text{ MILLIONEN JOULE}$

$$1 \text{ WATT} = 1 \frac{\text{Joule}}{\text{SEKUNDE}}$$





BESCHLEUNIGUNGSARBEIT

$W_{\text{BESCHL}} = \text{KRAFT } F \cdot \text{WEG } s$

$? = F \cdot \frac{1}{2} a t^2$
 $? \quad ? \quad ?$

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

$= ? \quad ? \quad ?$

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

$= ? \quad ? \quad ?$

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

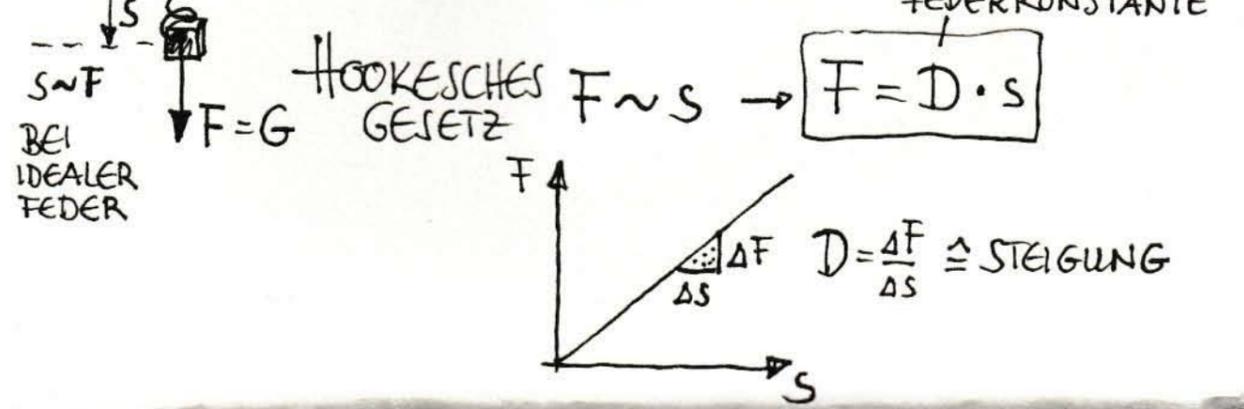
?
 ? FORMELN
 ? PUZZELN ?
 ? ?
 BIS ES
 PASST
 ☺
 33

BEWEGUNGSENERGIE (KINETISCHE ENERGIE)

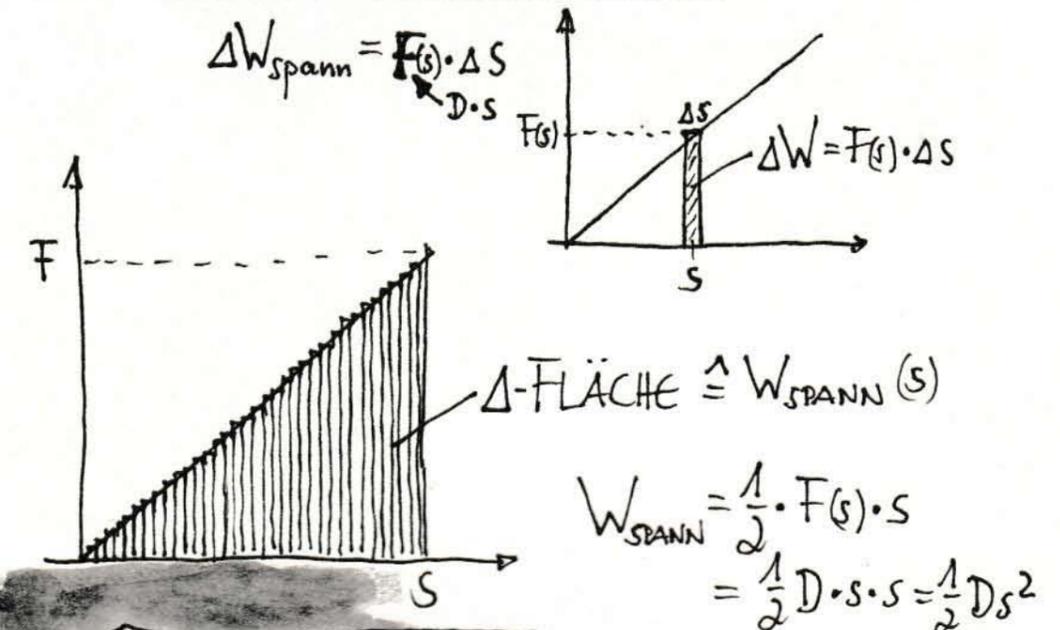
$E_{\text{KIN}} = \frac{1}{2} m v^2$



SPANNUNGS-ENERGIE



JEDES STÜCKCHEN DEHNUNG MEHR BENÖTIGT MEHR STÜCKCHEN SPANNUNGSARBEIT, DIE DANN IN DER FEDER ALS SPANNUNGSENERGIE STECKT.



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

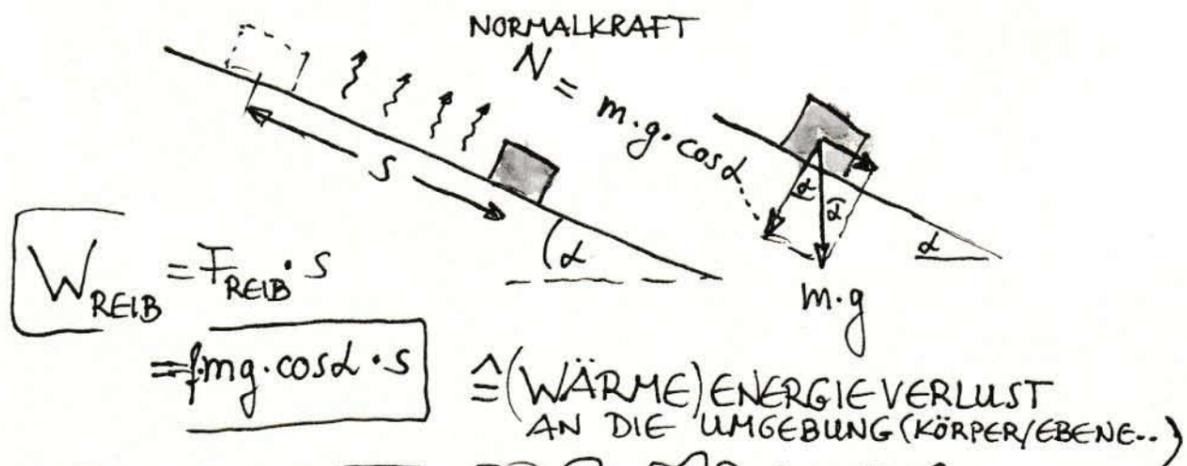
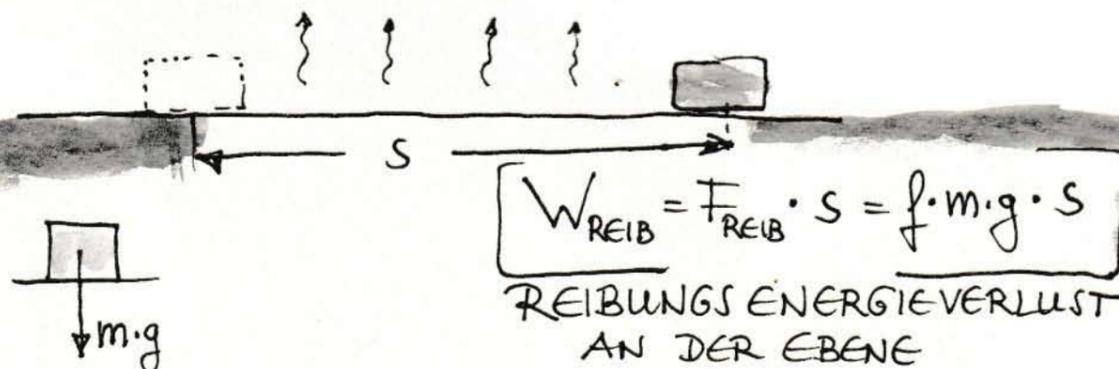
SPANNUNGSENERGIE EINER FEDER DER FEDERKONSTANTEN D, DIE UM S GEDEHNT IST.



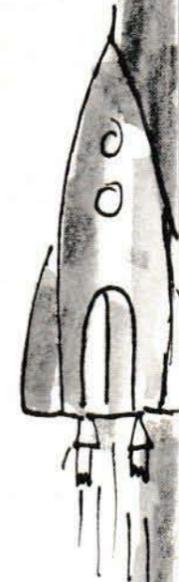
REIBUNGSARBEIT WÄRMEENERGIE



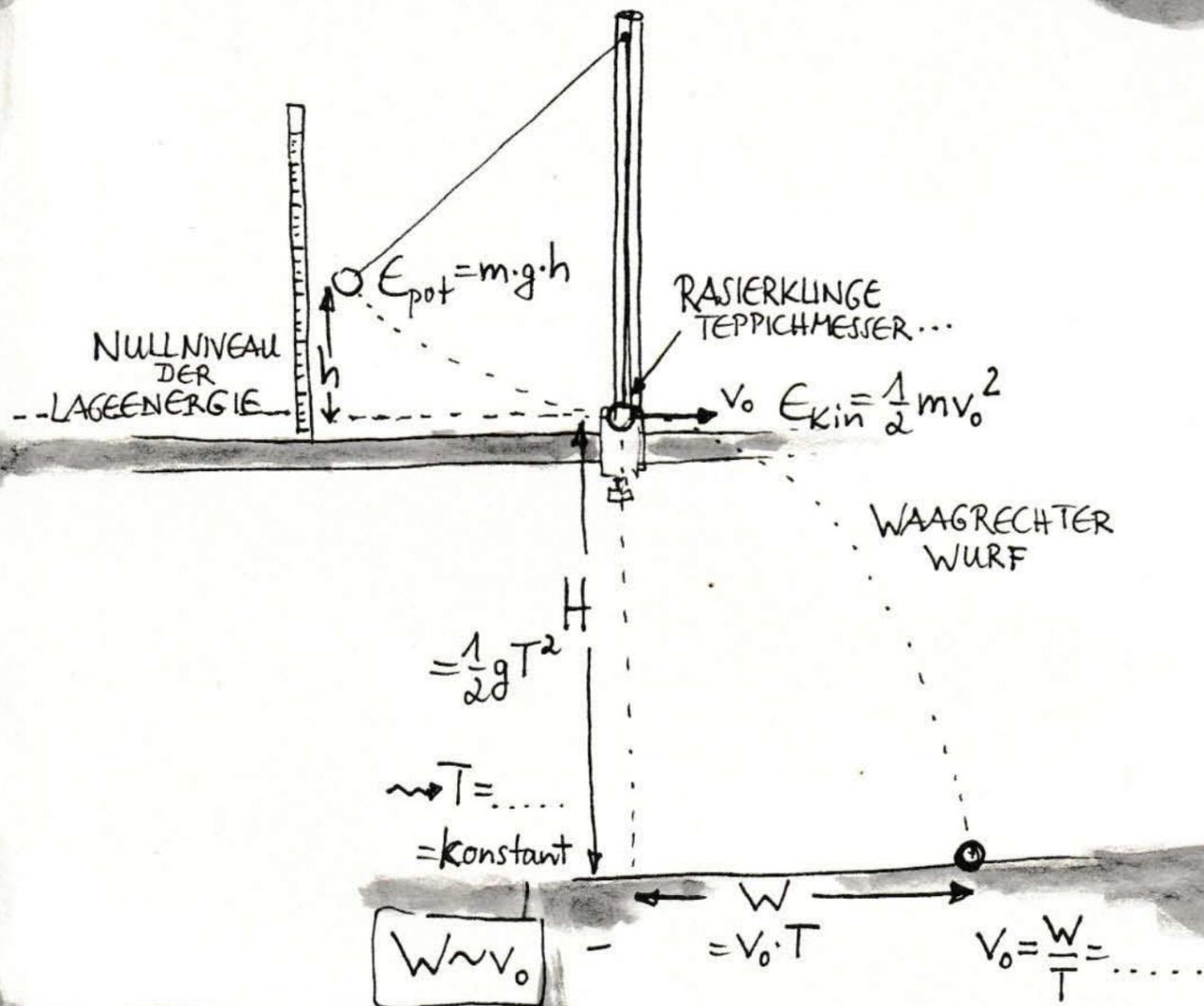
REIBUNG HÄNGT VON DER KRAFT AB,
DIE AUF DIE EBENE DRÜCKT UND WIRKT IMMER
GEGEN DIE BEWEGUNGSRICHTUNG



NICHT REVERSIBEL



DER ENERGIE AUF DER SPUR



VARIIERE h

...UND SUCHE NACH EINEM ZUSAMMENHANG ZWISCHEN

E_{pot} UND E_{kin}

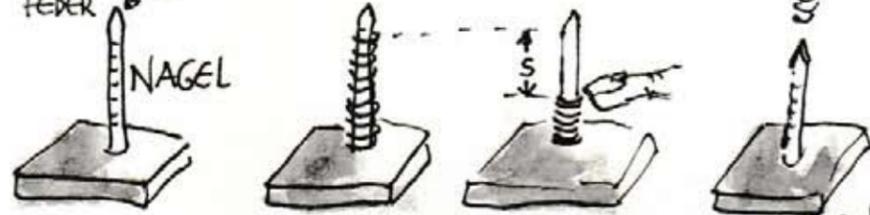
IN VIELEN BÜCHERN STEHT STATT E AUCH W

IDEEN?



VERSUCHSREIHE

KUGEL - SCHREIBER - FEDER

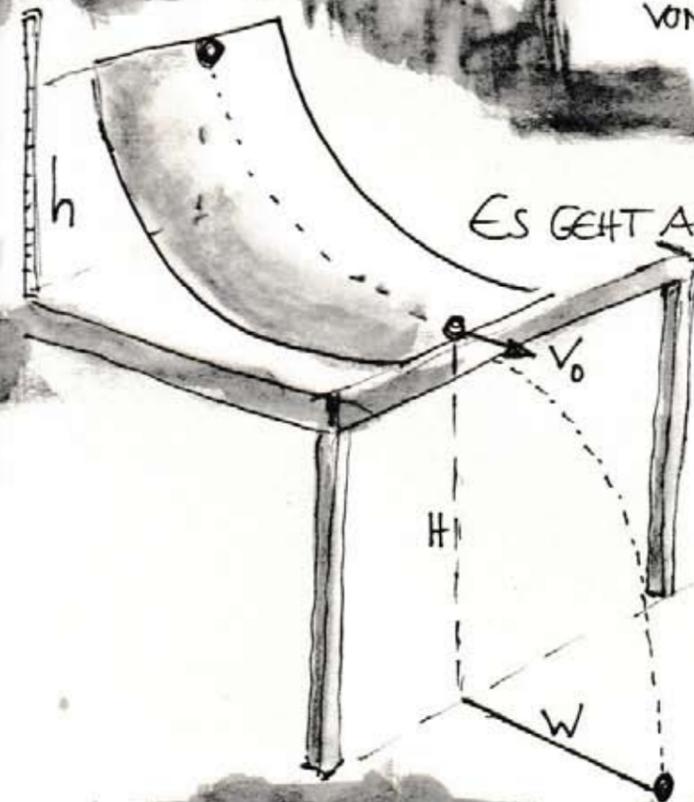


- PROBIERE
- MESSE
- SCHLUSSFOLGERE

SPANNUNGSENERGIE

WIRD ZUR LAGEENERGIE ...

VARIIERE s ... WIE HÄNGT DIE STEIGHÖHE H VON s AB?



ES GEHT AUCH OHNE RASIERKLINGE

WIE HÄNGT v_0 VON h AB?

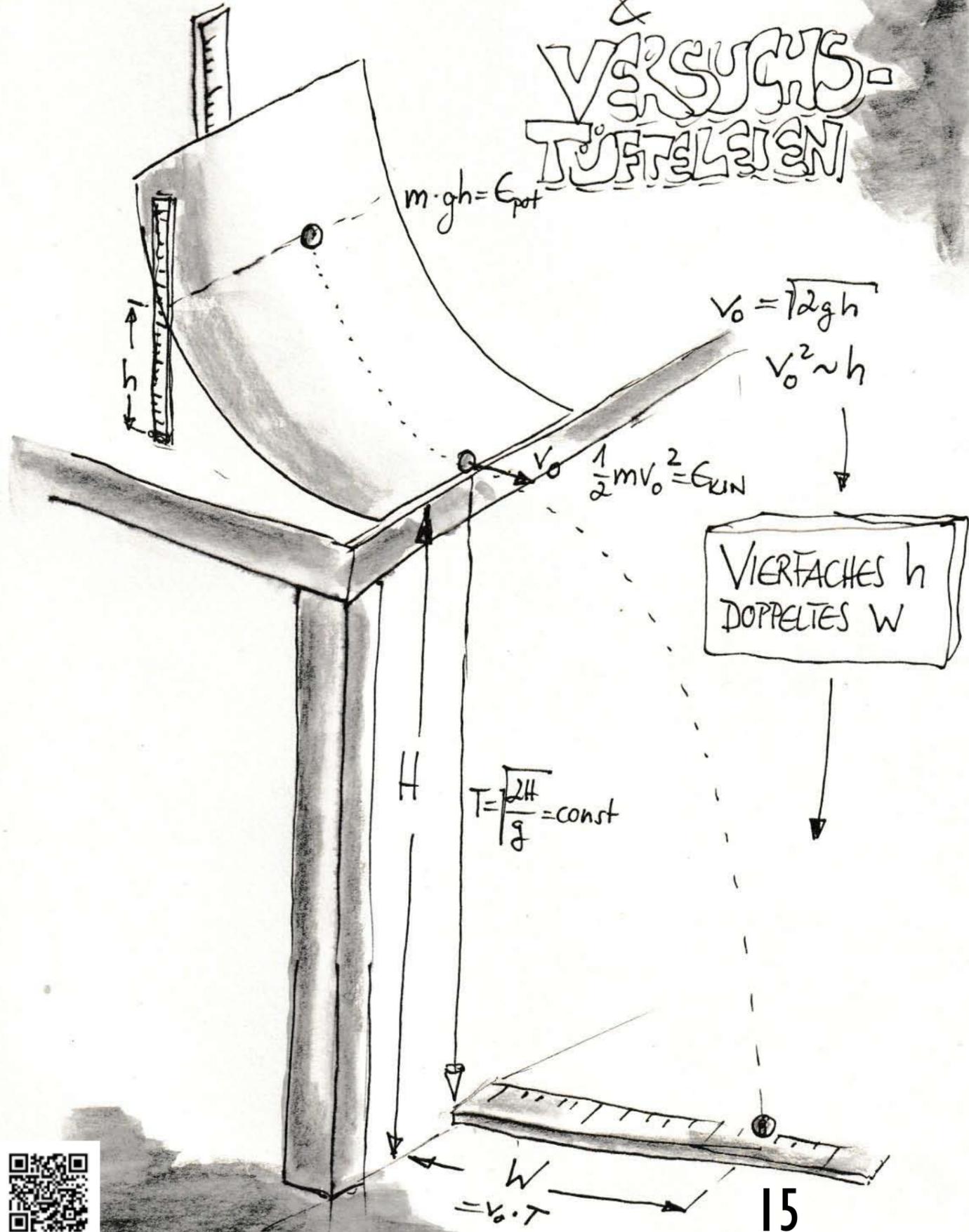
ERENDE EIGENE ENERGIEUMWANDLUNGSVERSUCHE

Fazit?

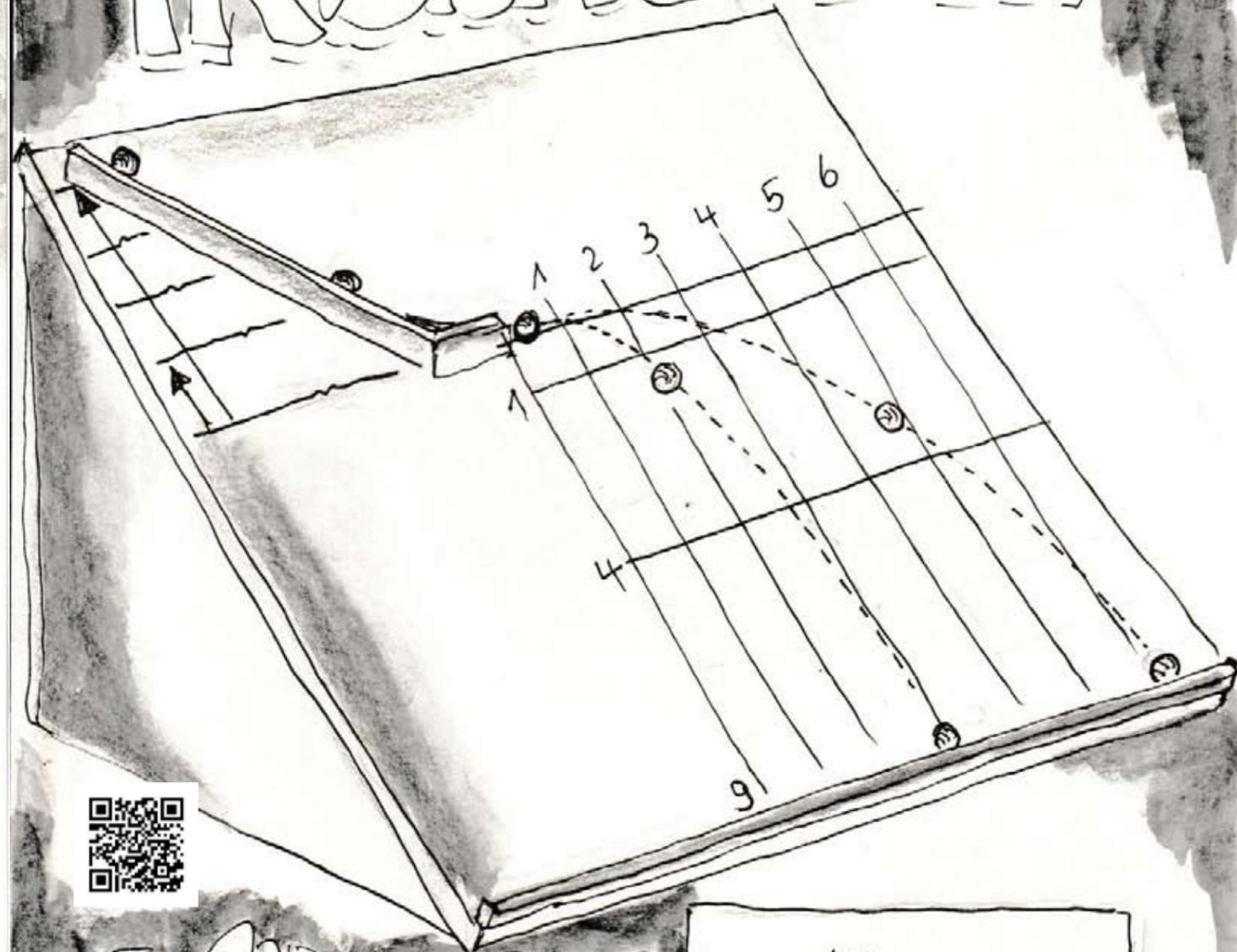


ENERGIERHAUPTUNG

& VERSUCHS- TUFLESEN

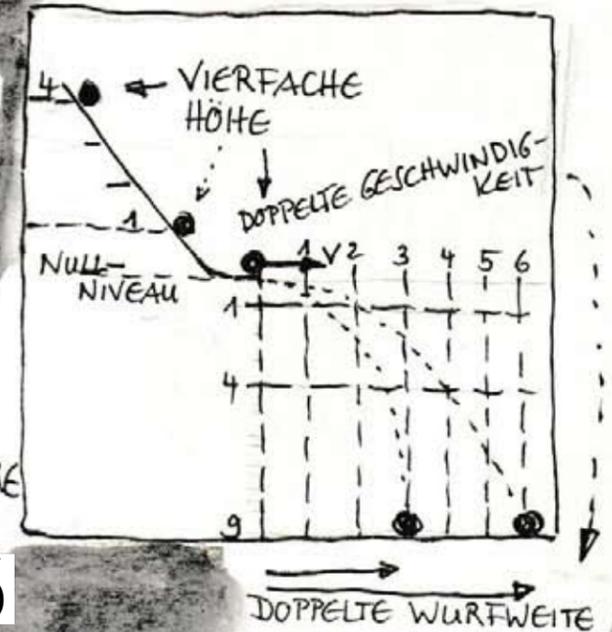


PROBIER'S MAL



VERLANGT

DIE SCHIEFE EBENE
+ SLOWMOTION AUFNAHME
LÜFTET
SCHEIMNISSE 16



REIBUNGSWÄRME

□ VERLUST

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

$$E_{\text{w\u00c4rme}} = f \cdot m \cdot g \cdot s$$

○ KURZHAARTEPPICH

BREMSWEG
s

h
NULLNIVEAU

$$F_{\text{REIB}} = f \cdot m \cdot g$$

m · g

$$F_{\text{REIB}} = f \cdot N = m \cdot g \cdot \cos \alpha$$

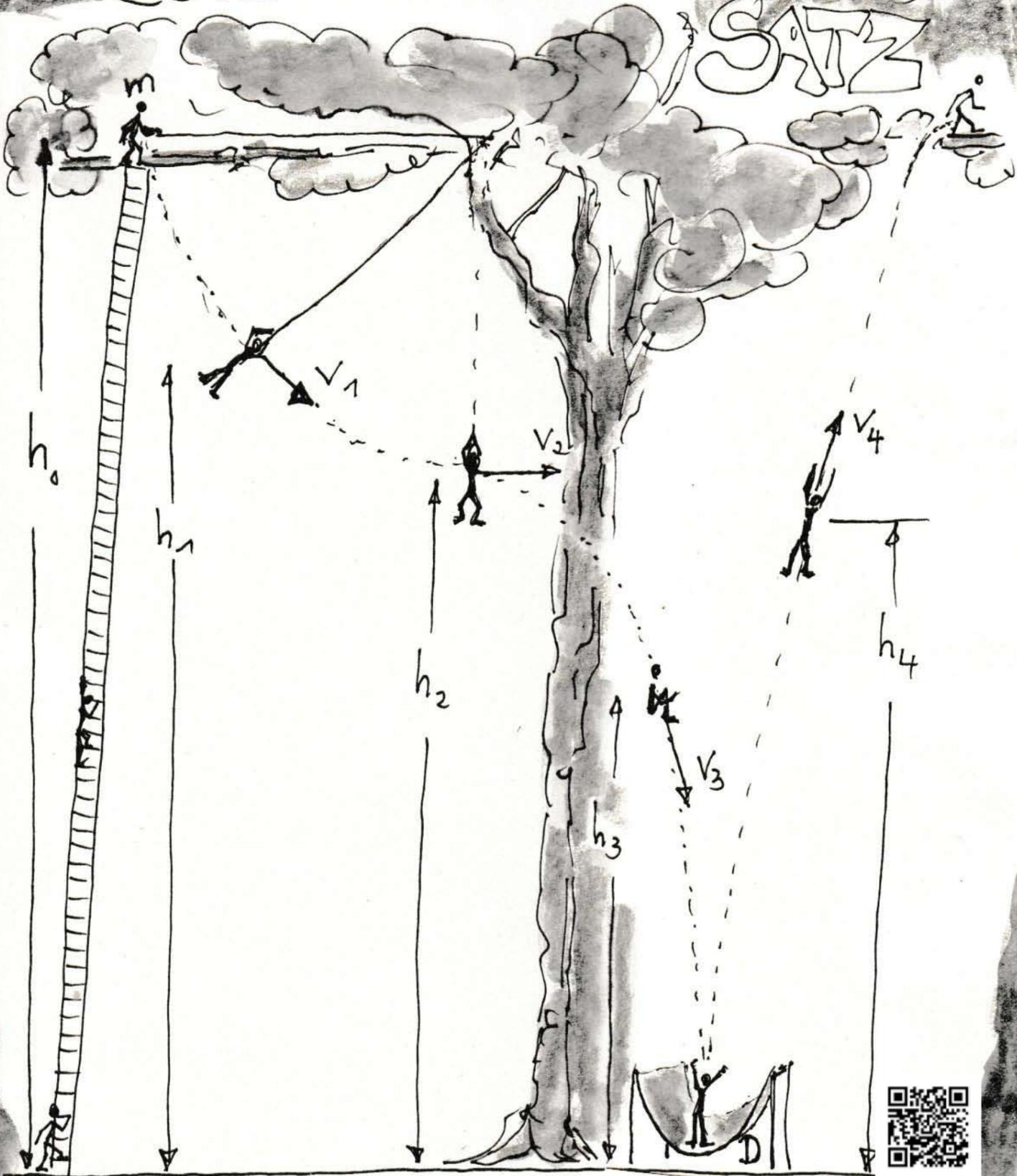
N = m · g · cos α

m · g

SIN COS TAN



ENERGIEERHALTUNGSSATZ

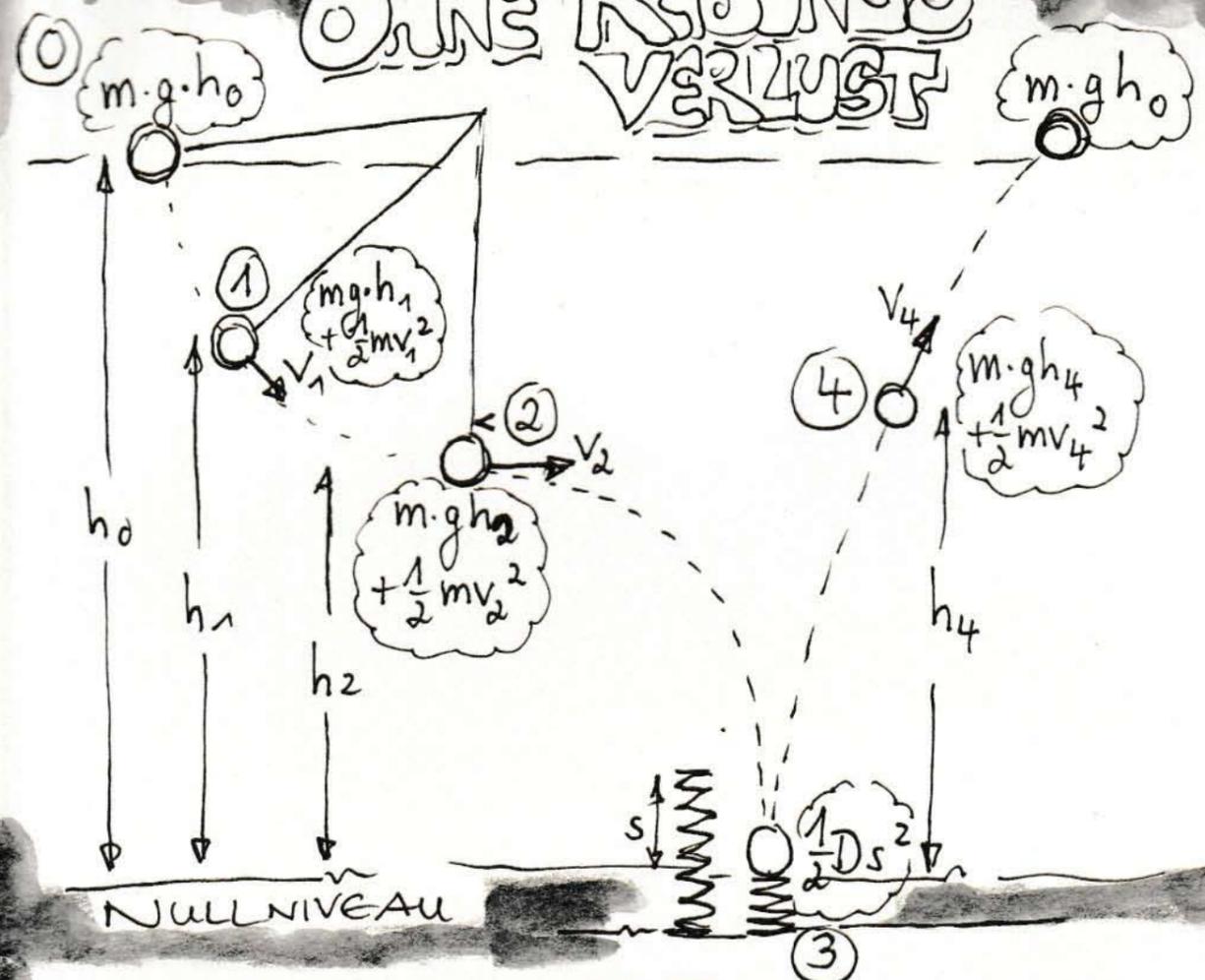


TARZANS MORNINGGYMNASTIK
OHNE REIBUNGSVERLUSTE

TRAMPOLIN



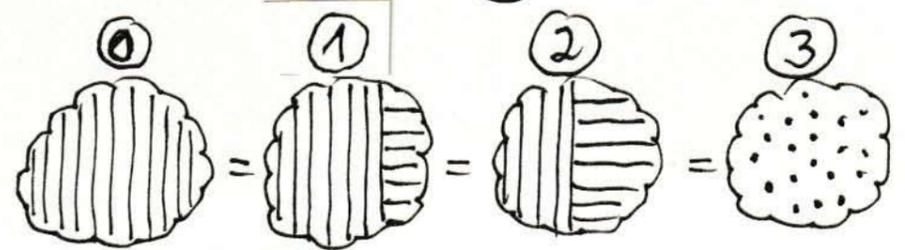
OHNE REIBUNGS- VERLUST



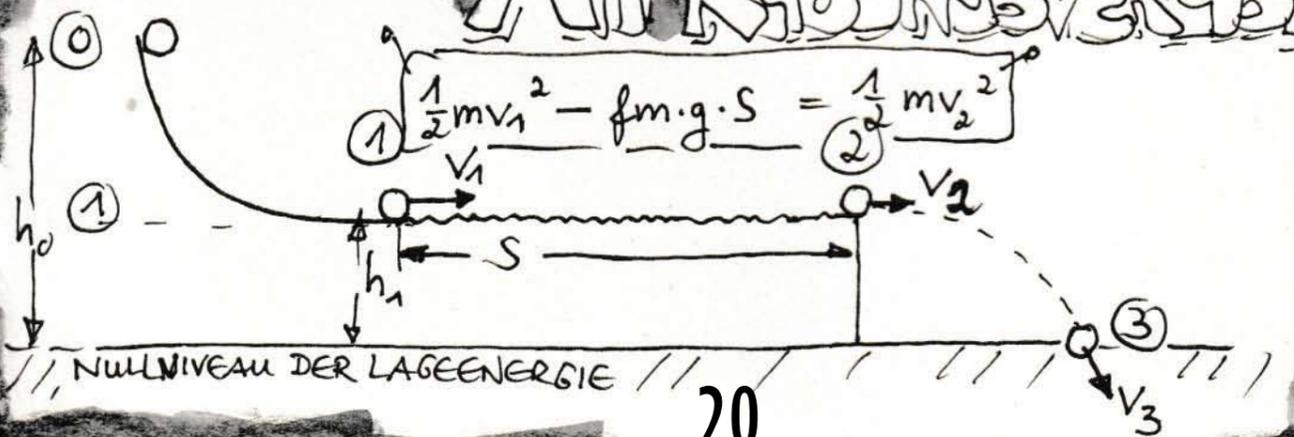
E_{pot}

E_{kin}

E_{spann}



MIT REIBUNGSVERLUST



EIGENE ENERGIE - ERHALTUNGSSATZAUFGABEN

① LEGE DAS NULLNIVEAU
DER LAGEENERGIE GESCHICKT
FEST.

② LIEGT DER KÖRPER h ÜBER DEM
NULLNIVEAU, BESITZT ER DIE LAGE-
ENERGIE $E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$

③ BEWEGT SICH DER KÖRPER MIT DER
GESCHWINDIGKEIT v , BESITZT ER DIE
KINETISCHE ENERGIE $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m v^2$

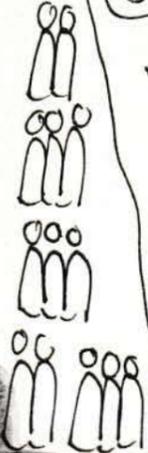
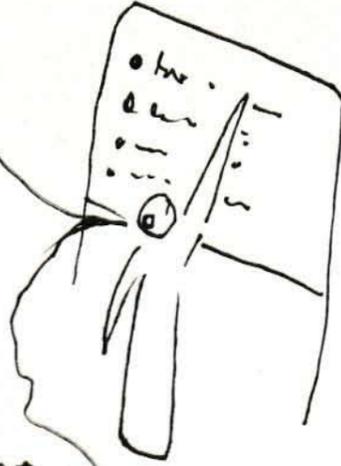
④ DRÜCKT DER KÖRPER EINE FEDER
DER FEDERKONSTANTE D UM DIE STRECKES
ZUSAMMEN, STECKT IN DER FEDER DIE
SPANNUNGSENERGIE

⑤ IN AUFGABEN NIMMT MAN IDEALERWEISE
AN, DASS KEINE ENERGIE DURCH REIBUNG
VERLOREN GEHT... VERGLEICHT MAN DANN 2 PUNKTE
A UND B, DANN GILT $E_{\text{GESAMT A}} = E_{\text{GESAMT B}}$

⑥ WENN DU REIBUNG IN DIE AUFGABE
EINBAUEN WILLST, DANN $E_{\text{REIB}} = f \cdot m \cdot g \cdot s$

ODER ~~$E_{\text{REIB}} = f \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot s$~~

DANN GILT $E_{\text{GES A}} - E_{\text{REIB A} \rightarrow \text{B}} = E_{\text{GES B}}$



JETZ AUFBENTÜFFELN



ÜBRIGENS
ES GIBT KEIN

PERPETUUM MOBILE

OTTO KRAZ

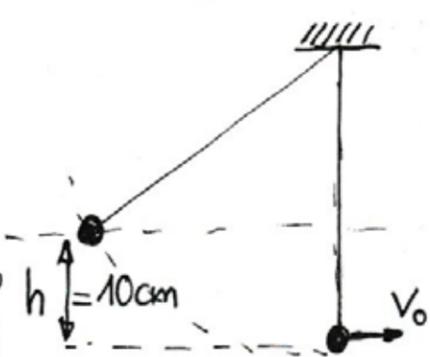
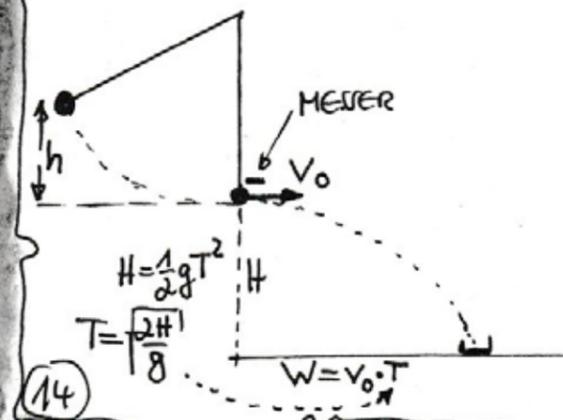


ENERGIE

KOMPAKT - EIN KRAZ-PIXI

LOGISCH?

UM 3 KARTOFFELSÄCKE
2 STOCKWERE HOCHZUHEBEN,
MUSST MAN DIE ... FACHE
ARBEIT VERRICHTEN - IM
VERGLEICH ZU: 1 KARTOFFELSACK
1 STOCKWERK.
DIE HUBARBEIT IST DANN
IN FORM VON ...
GESPEICHERT.
DGF: ARBEIT = ...



SOMIT POTENZIELLE ENERGIE
LAGEENERGIE

$W_{pot} =$
UNABHÄNGIG
VOM WEG

$mg \cdot \sin \alpha \cdot s = h \cdot \sin \alpha$

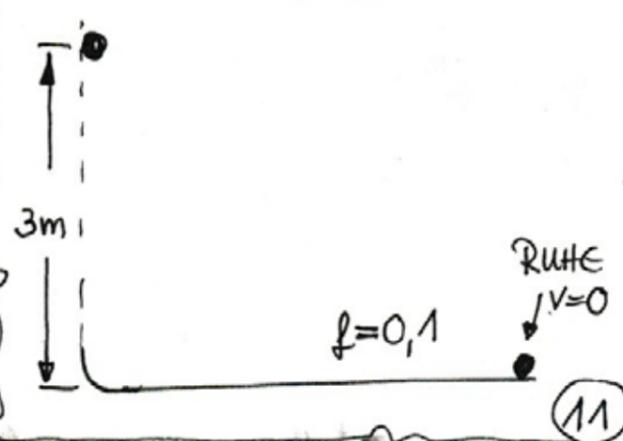
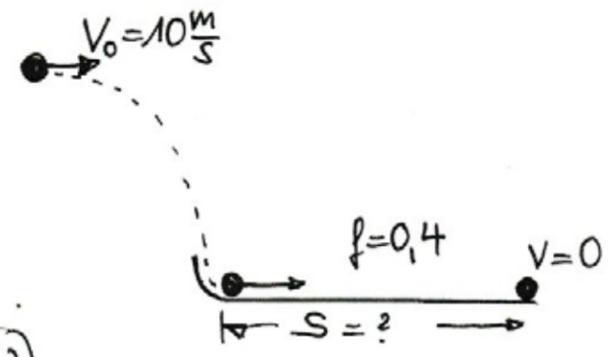
NUR ABHÄNGIG
VON DER
HÖHE ÜBER
NN

NULL
NIVEAU

KINETISCHE ENERGIE
BEWEGUNGSENERGIE

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

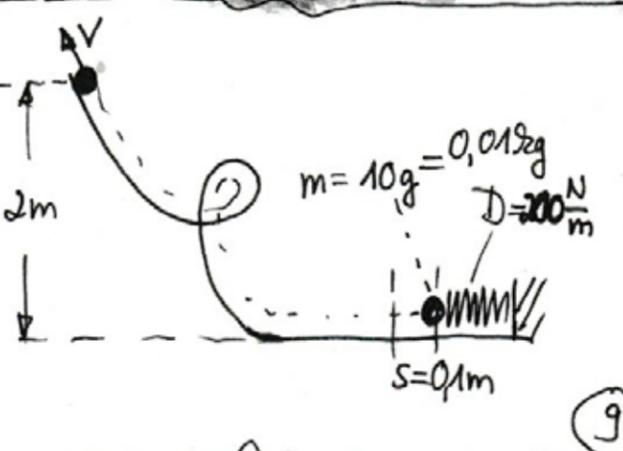
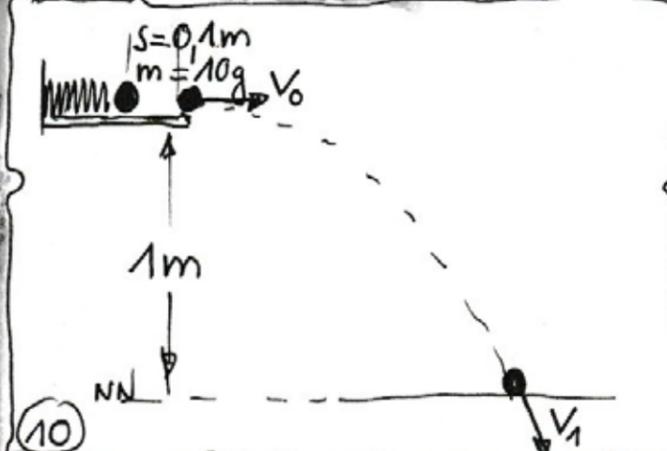
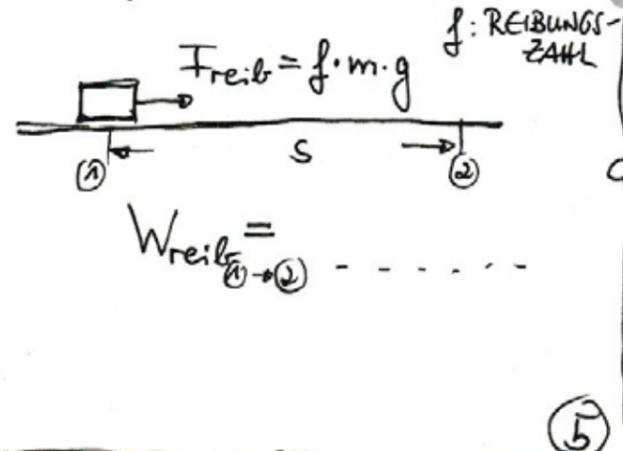
$W_{KIN} = F \cdot s =$
 $= \frac{1}{2} m v^2$



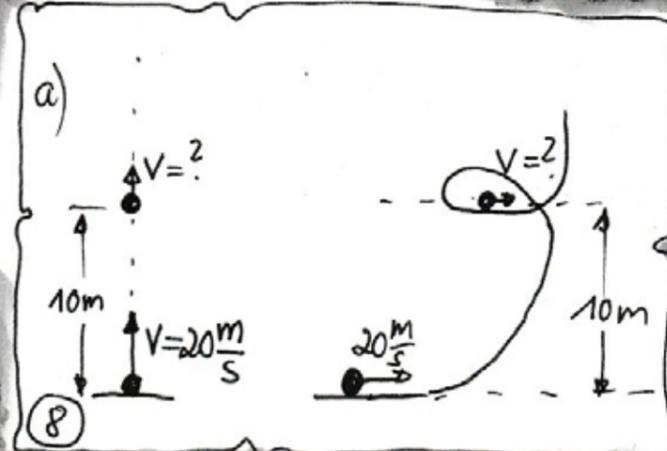
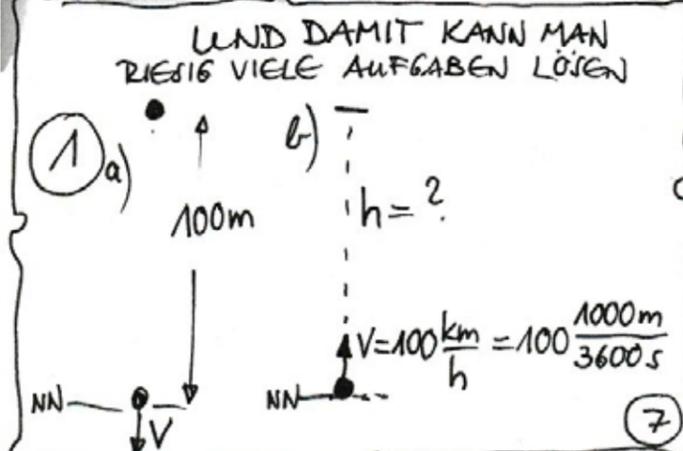
SPANNUNGSENERGIE

$F = D \cdot s$

$W_{spann} = \sum F_n \cdot \Delta s_n$



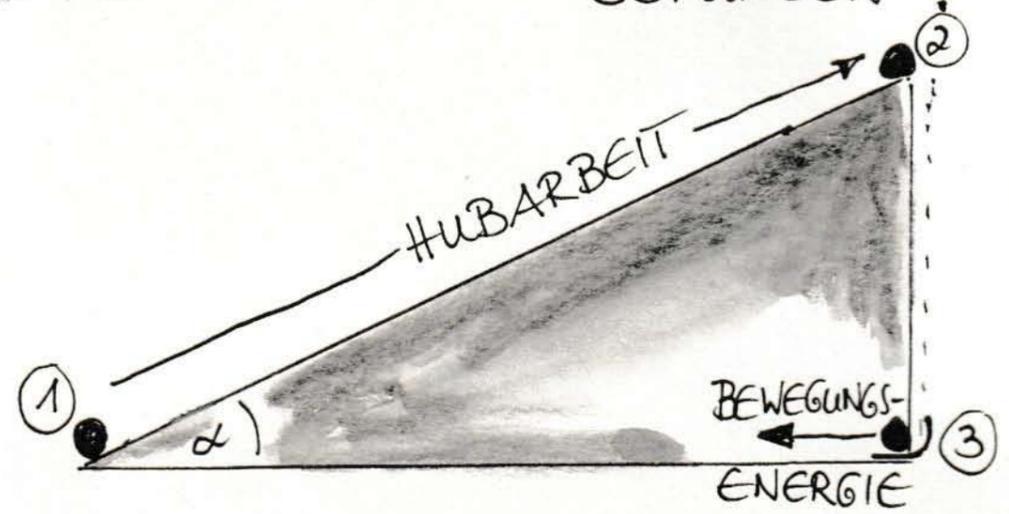
ALLE VERSUCHE ZEIGEN:
ENERGIE ...
VERLOREN ... SONDERN WIRD
NUR ...
IN ABGESCHLOSSENEN SYSTEMEN
GILT DER



AUFGABEN

PERPETUUM MOBILE

GEFUNDEN 2



BEHAUPTUNG: MAN BENÖTIGT DOCH SICHER WENIGER ARBEIT, DIE KUGEL DIE SCHIEFE EBENE HOCHZUROLLEN (1) → (2) ALS SENKRECHT VON (3) → (2). ALSO WIRD VON (2) → (3) MEHR ENERGIE FREI ALS VORHER IN DAS SYSTEM GESTECKT. JIPPIEH... EIN PERPETUUM MOBILE. ENERGIEPROBLEME GELÖST.

FINDE DEN FEHLER



DIE SACHE MIT DER LEISTUNG

VERRICHTE EINE ARBEIT IN DER HALBEN ZEIT,
DANN IST DEINE LEISTUNG DOPPELT SO GROSS

DANN IST
LEISTUNG EINFACH
 $\frac{\text{ARBEIT}}{\text{ZEIT}}$?

GENAU
 $P = \frac{W}{t}$

$[P] = \frac{J}{s} = W$ (WATT)

HEY
WATT
KENN
ICH
DOCH

KILOWATT
MEGA WATT
GIGA WATT

UND WAS
IST EINE
KILOWATT-
STUNDE?
DIE KOSTET
BEIM STROM
GERADE GUT
30 CENT

NA EBEN
 $1000 \text{ WATT} \cdot 1 \text{ h}$
 $= 1000 \frac{J}{s} \cdot 3600 \text{ s}$
 $= 3600000 \text{ J}$

ACH SO, ALSO EINE
ENERGIEEINHEIT?

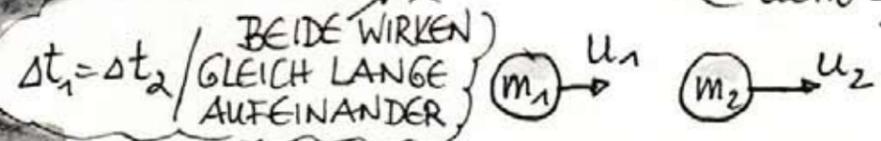
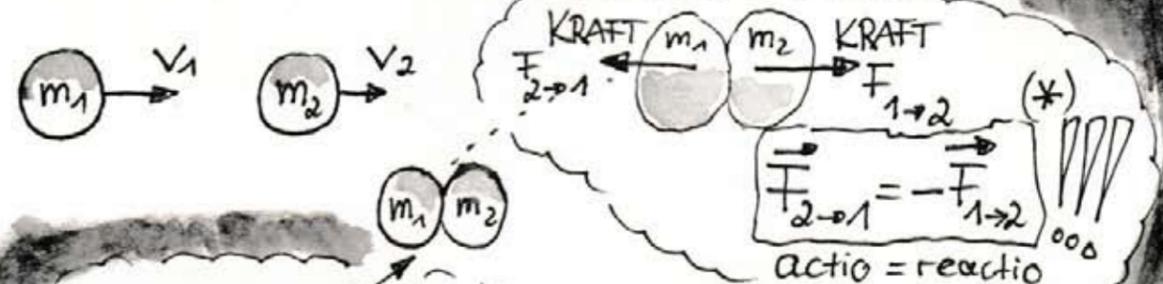
JA STIMMT
EIN HEIZLÜFTER MIT
1 KILOWATT HEIZLEISTUNG
VERBRAUCHT IN 1 STUNDE
1 kWh ENERGIE

WATT-JOULE SEKUNDE

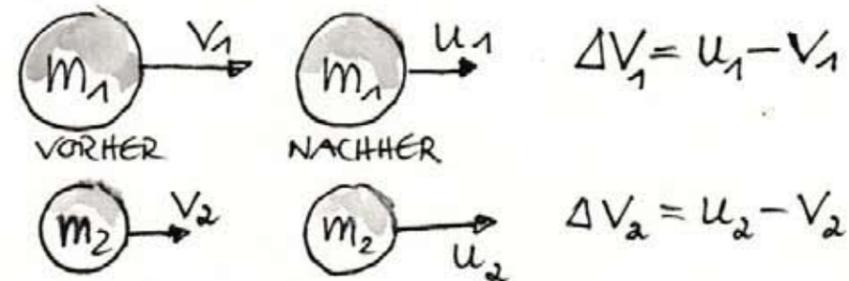


IMPULSERHALTUNG

WEIL GILT: **ACTIO = REACTIO**



DANN KOMMT HERR NEWTON MIT DER WELTFORMEL
 $F = m \cdot a = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t}$... GESCHWINDIGKEITSÄNDERUNG
... ZEIT D. KRAFTEINWIRKUNG



(*)

$$m_1 \cdot a_1 = -m_2 a_2$$

$$m_1 \cdot \frac{\Delta v_1}{\Delta t} = -m_2 \frac{\Delta v_2}{\Delta t}$$

$$m_1 (u_1 - v_1) = -m_2 (u_2 - v_2)$$

$$m_1 u_1 - m_1 v_1 = -m_2 u_2 + m_2 v_2$$

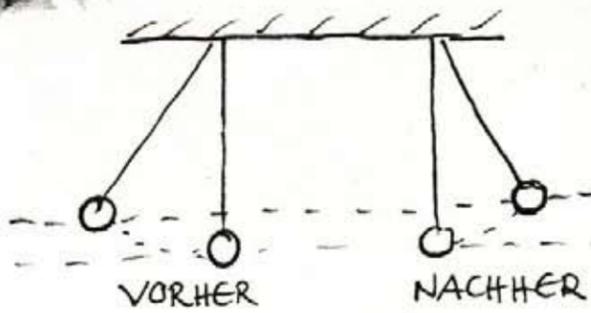
$$m_1 u_1 + m_2 u_2 = m_1 v_1 + m_2 v_2$$

DIE SUMME DER PRODUKTE
VON $m_1 u_1$ UND $m_2 u_2$ NACH
EINEM STOSS ZWEIER KÖRPER
= DER SUMME
DER PRODUKTE
VON $m_1 v_1$ UND $m_2 v_2$
VOR DEM STOSS

DA $m \cdot v = p$ IMPULS
GENANT WIRD STEHT DER
IMPULSERHALTUNGS-
SATZ



ELASTISCHER STOß

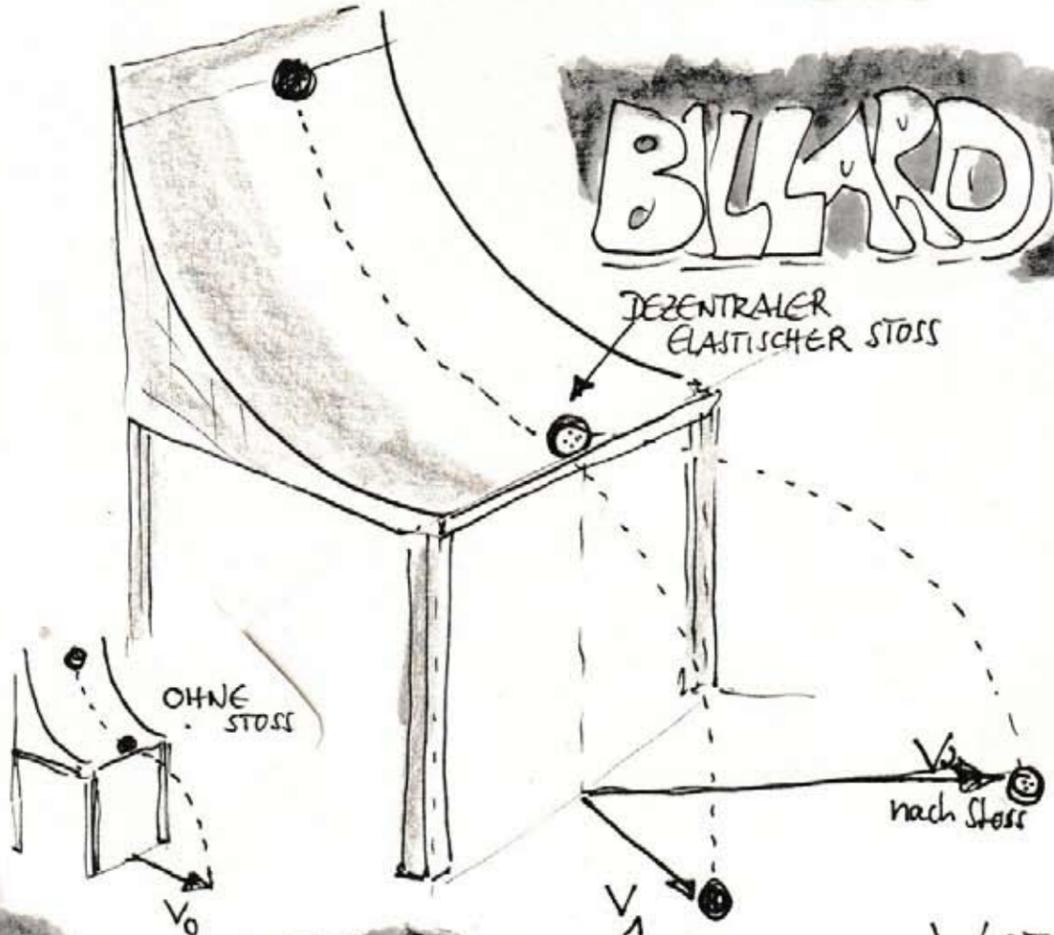


- ZWEI STAHLKUGELN
- JEDE/R KENNT'S
- HIER GILT AUCH DER ENERGIE-ERHALTUNGSSATZ ZUM IMPULSERHALTUNGSSATZ

DER IMPULS IST EIN VEKTOR

$$\vec{p} \quad \vec{p}_{\text{GES VORHER}} = \vec{p}_{\text{GES NACHHER}}$$

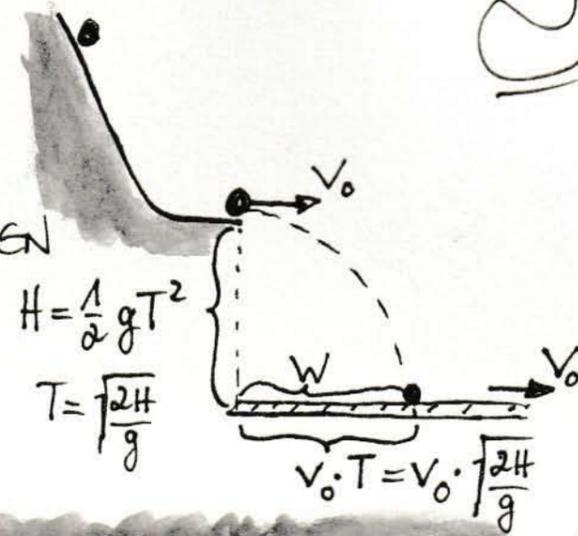
BILIARD



WURFWEITEN ~ ABSCHUSSGESCHWINDIGKEIT

UNELASTISCHER STOß

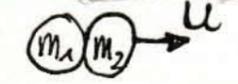
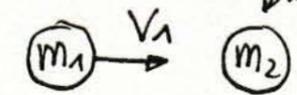
① DU WEISST INZWISCHEN



BASTLE EINEN GESCHWINDIGKEITSMESSER
 $W = v_0 \sqrt{\frac{2H}{g}}$ $v_0 = \frac{W \sqrt{g}}{\sqrt{2H}}$

$$W \sim v_0$$

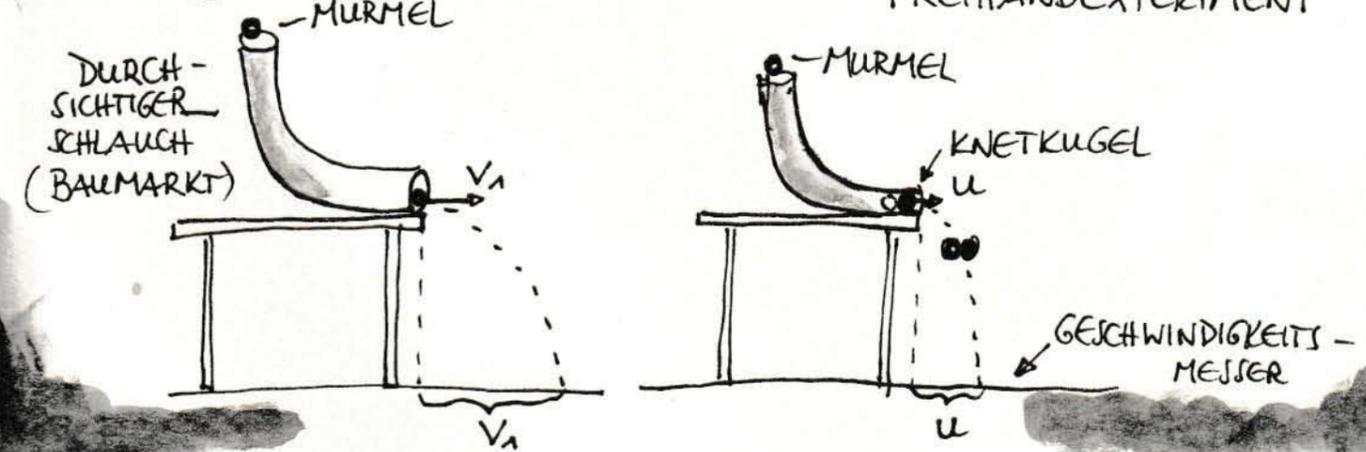
②



IMPULSERHALTUNGSSATZ

$$\underbrace{m_1 \cdot v_1}_{\text{IMPULS VORHER}} = \underbrace{(m_1 + m_2) \cdot u}_{\text{IMPULS NACHHER}}$$

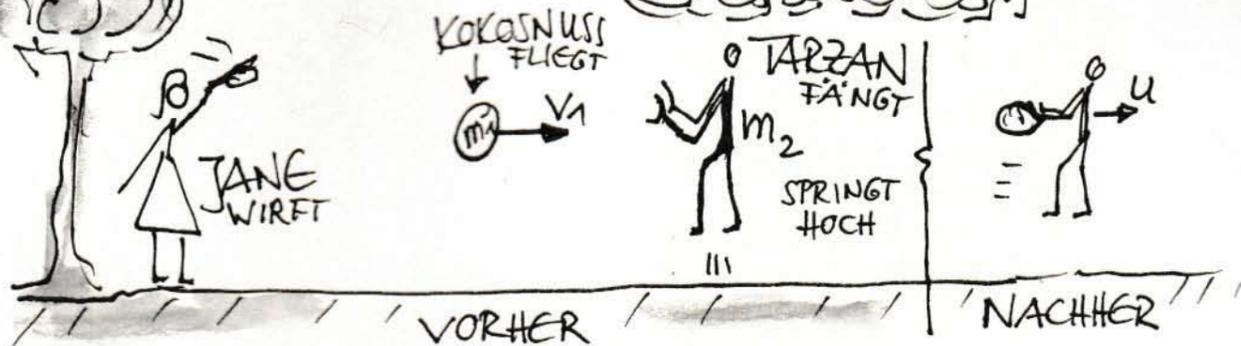
③ VERSUCHE DIES ZU "BEWEISEN". FREIHANDEXPERIMENT



④ ERFINDE EIGENE EXPERIMENTE



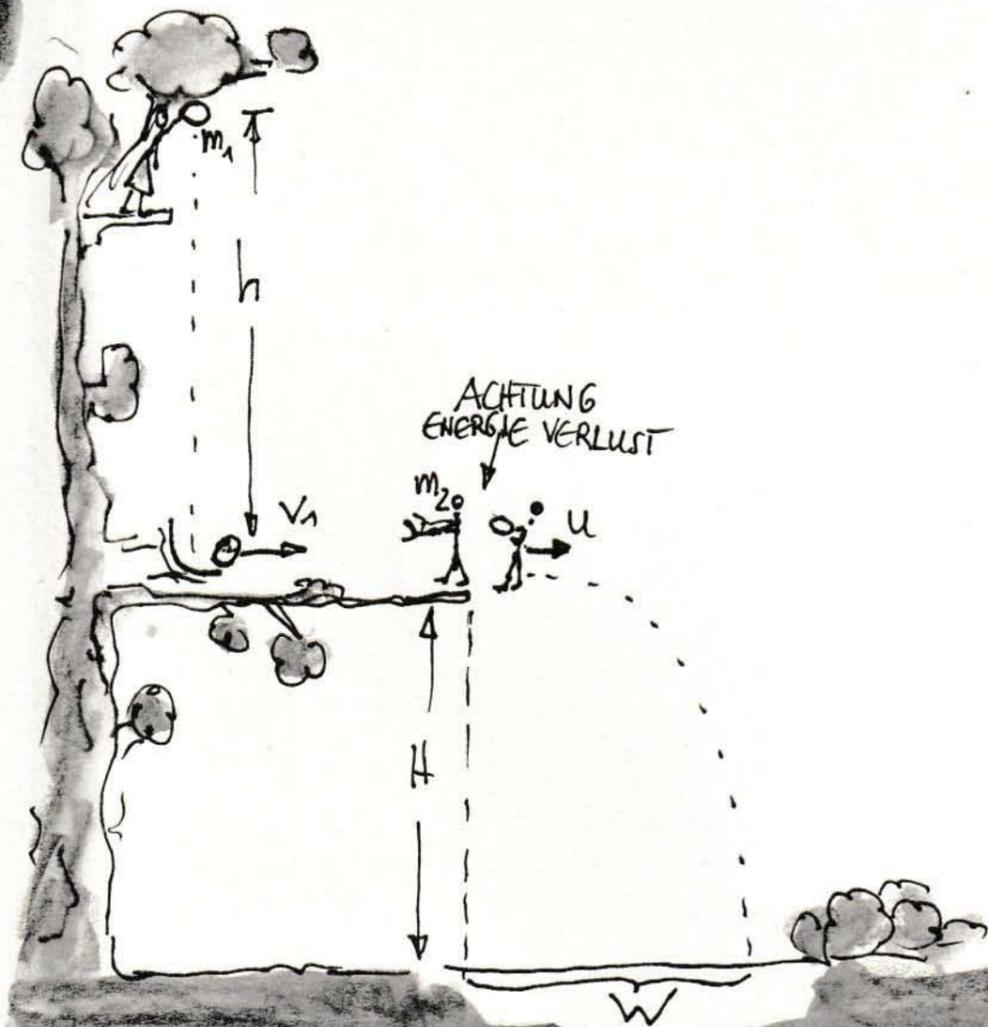
IMPULSAUFGABEN ERFINDEN



SOWAS WIE „TARZAN FÄNGT KOKOSNUSS“

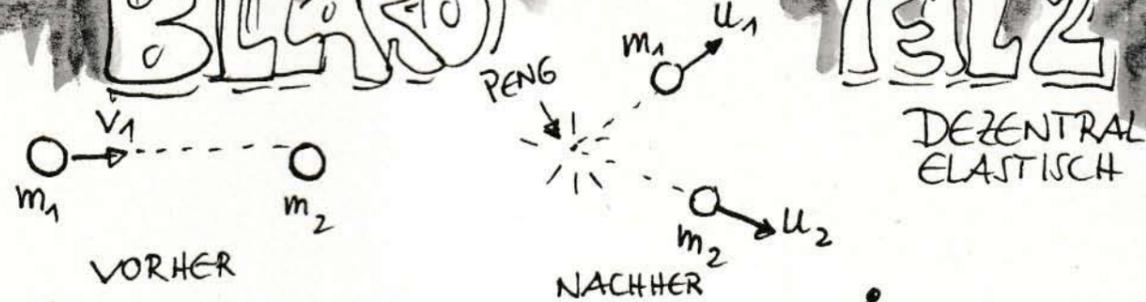
WERTE EINSETZEN & LAS

UND GERNE KOPPELN MIT DEM ENERGIEERHALTUNGSSATZ



BILIARD

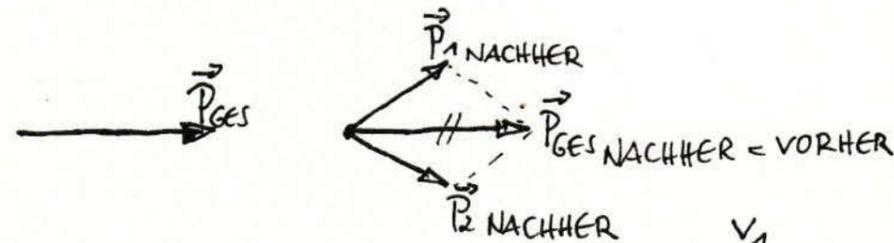
TEIL 2



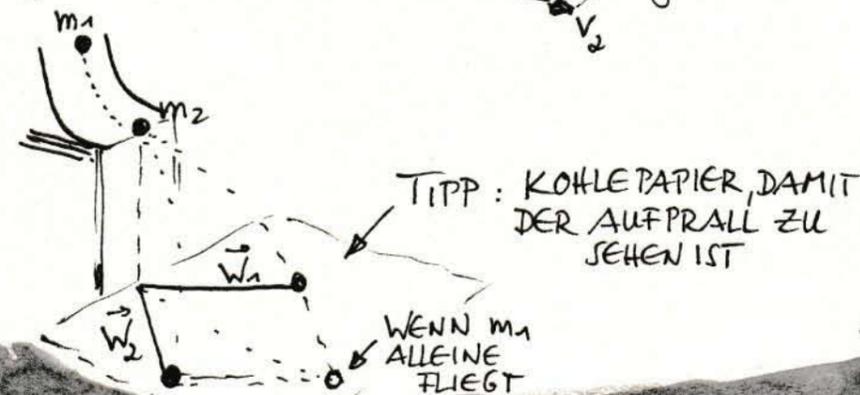
DA DER IMPULSERHALTUNGSSATZ GELTEN MUSS... MUSS SICH ERGEBEN

$$\vec{p}_{1 \text{ VORHER}} = \vec{p}_{1 \text{ NACHHER}} + \vec{p}_{2 \text{ NACHHER}}$$

$$(\vec{p}_{2 \text{ VORHER}} = 0)$$

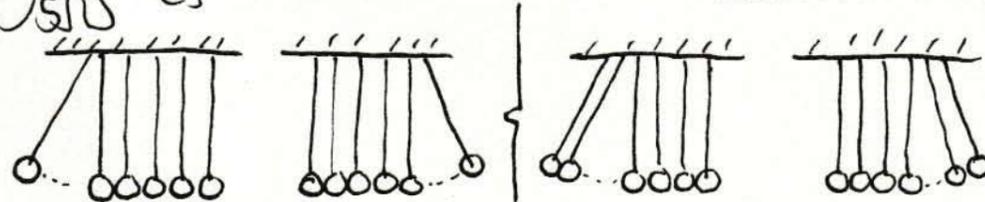


BEI GLEICHEN MASSES : \vec{v}_1



JEDER KENNT ES

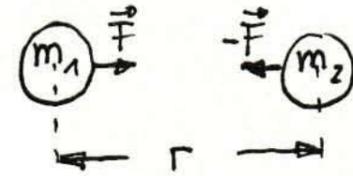
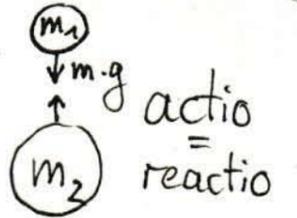
ZENTRAL ELASTISCH



WAS PASSIERT HIER ?



DIE ERDE UND WIR



DOPPELTE MASSE → DOPPELTES GEWICHT
ALSO

$F_{\text{GRAVITATION}} \sim m_1$
 $F \sim m_2$

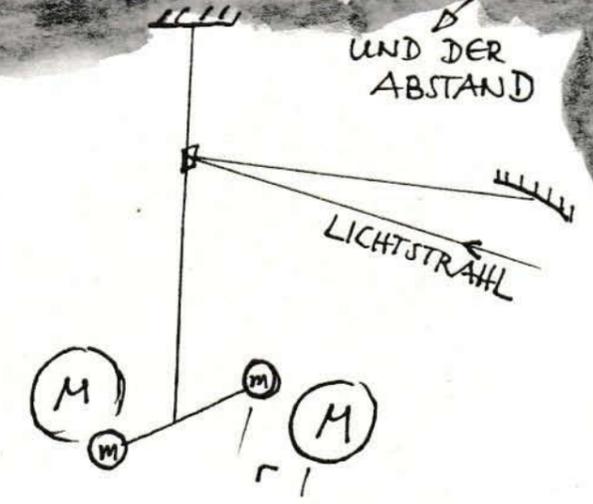
$$F \sim \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

KANN MAN DIE ANZIEHUNGSKRAFT ZWEIER MAssEN IM LABOR MESSEN?

LOGISCHERWEISE AUCH

UND DER ABSTAND

GRAVITATIONSWAAGE
HENRY CAVENDISH 1798



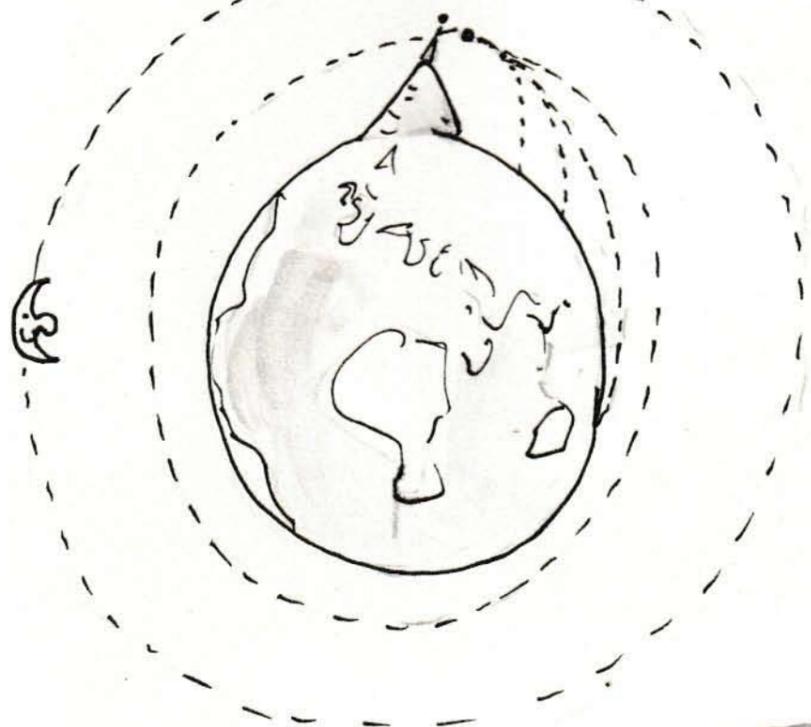
$$F \sim \frac{1}{r^2} \Rightarrow F_{12} \sim \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

SCHON CAVENDISH BESTIMMTE DIE GRAVITATIONS KONSTANTE ANNÄHERND GENAU.

$$F_{12} = \gamma \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

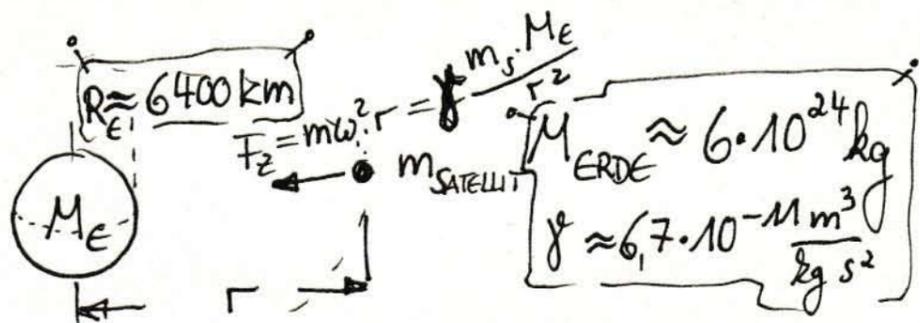
MIT $\gamma \approx 6,7 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{s}^2}$

DER MOND UND WIR



AUFGABEN-TÜFTEL

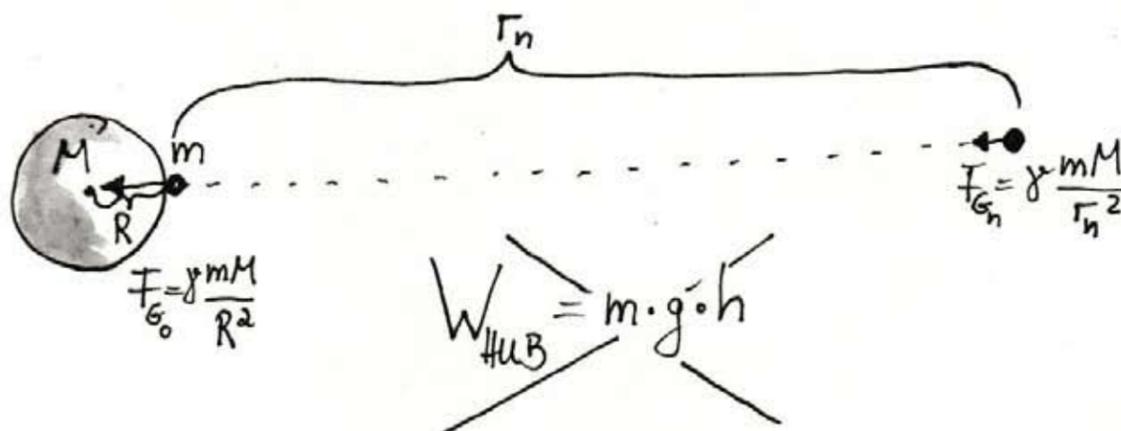
Z.B. IN WELCHER HÖHE ÜBER DER ERDOBERFLÄCHE KREIST EIN GEOSTATIONÄRE SATELLIT? ÄQUATOR $T=24h$



ERINNERE DICH $\omega = \frac{2\pi}{T}$ — 360° IM BOGENMASS — UMLAUFDAUER
WINKELGESCHWINDIGKEIT



HUBARBEIT IM GRAVITATIONSFELD UND DIE FLUCHTGESCHWINDIGKEIT



⇒ IN KLEINEN SCHRITTEN

GEMITTELT

$$\Delta W_{1 \rightarrow 2} = \bar{F}_{\frac{r_1}{r_2}} \cdot \Delta r$$

$$= \frac{Mm}{r_1 r_2} \cdot \Delta r = \frac{Mm}{r_1 r_2} \cdot (r_2 - r_1)$$

$$= \gamma Mm \left(\frac{r_2}{r_1 r_2} - \frac{r_1}{r_1 r_2} \right) = \gamma Mm \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

UND DAS DANN IMMER WEITER SO

$$\Delta W_{2 \rightarrow 3} = \gamma Mm \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} \right) \quad \Delta W_{3 \rightarrow 4} = \gamma Mm \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \text{ usw}$$

$$W_{\text{ges } r_1 \rightarrow r_n} = \gamma Mm \left(\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) + \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} \right) + \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) + \dots + \left(\frac{1}{r_{n-2}} - \frac{1}{r_{n-1}} \right) + \left(\frac{1}{r_{n-1}} - \frac{1}{r_n} \right) \right)$$

$$W_{1 \rightarrow n} = \gamma \cdot Mm \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_n} \right)$$

BERECHNE FLUCHTGESCHWINDIGKEIT

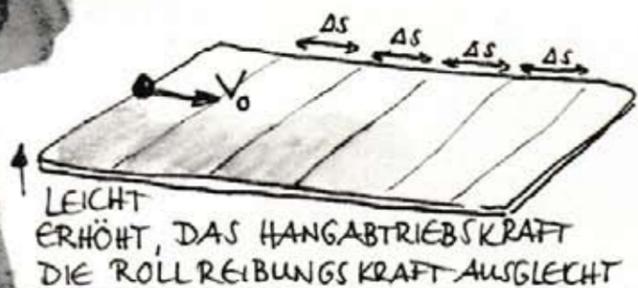
$$\frac{1}{2} m v_{\text{FLUCHT}}^2 = \gamma m M_E \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{\infty} \right)$$



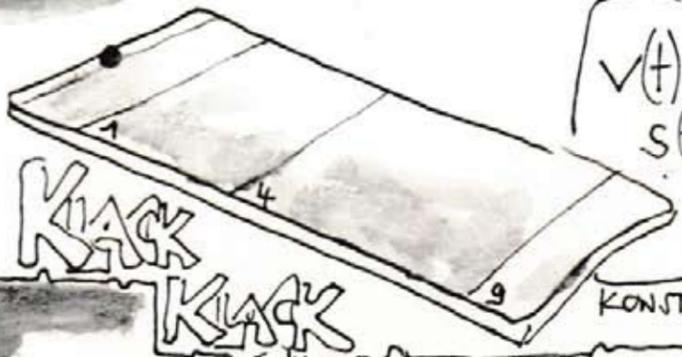
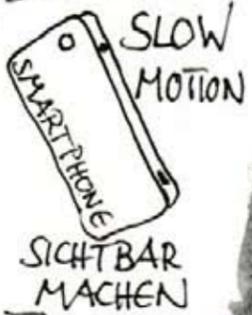


DE WET VON GALILEI BIS NEWTON

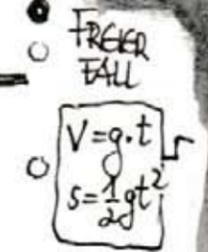
AM SCHIEFEN BRET MIT



$$v(t) = v_0$$
$$s(t) = v_0 \cdot t$$

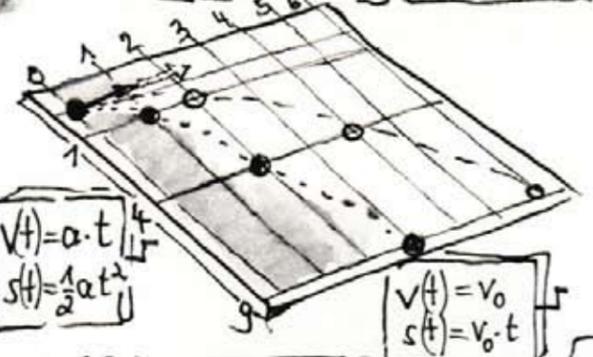


$$v(t) = a \cdot t$$
$$s(t) = \frac{1}{2} a t^2$$
$$a(t) = a = \text{const}$$



KONSTANT BESCHLEUNIGTE BEWEGUNG

WAAGRECHTER WURF



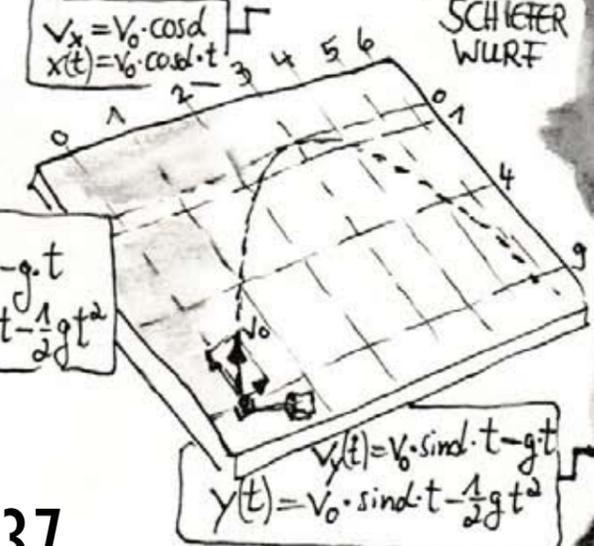
$$v_x = v_0$$
$$x = v_0 \cdot t$$
$$v_y = g \cdot t$$
$$y = \frac{1}{2} g t^2$$



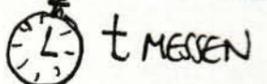
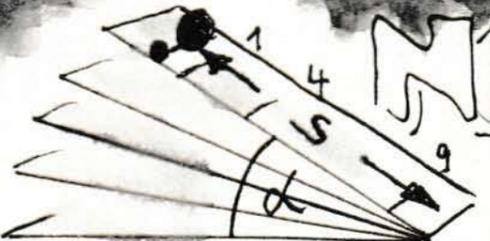
SENKRECHTER WURF

$$v(t) = v_0 - g \cdot t$$
$$s(t) = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} g t^2$$

... DIE SYMMETRIE BESTAUNEN

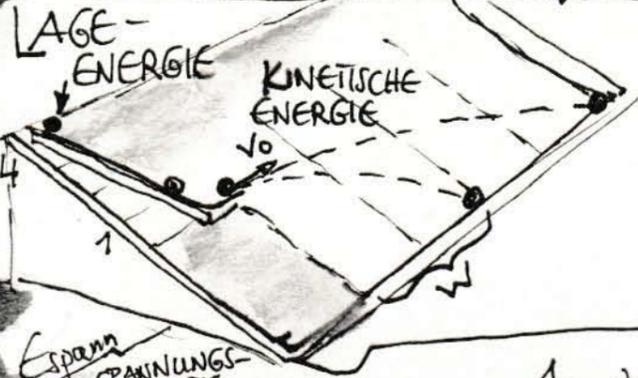
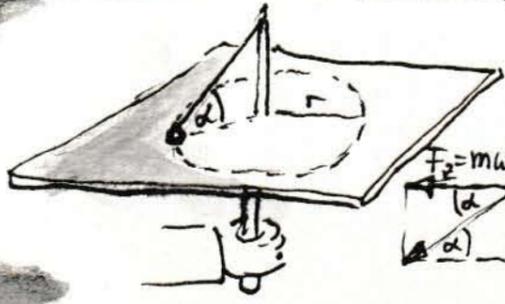


NEWTONS WETTERIKEL



d	sin d	t	a = \frac{2s}{t^2}

MESS REIHE



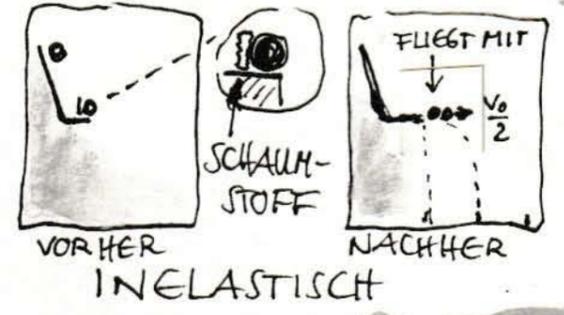
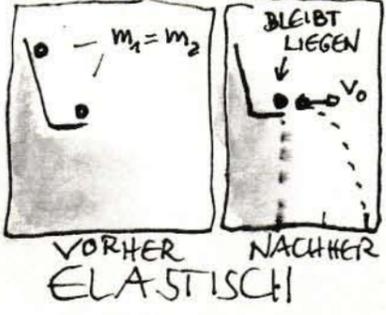
WAAGRECHTER WURF W \sim v_0

DA $E_{pot} = E_{kin}$
($m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} m v^2$)
VIERFACHE HÖHE \sim DOPPELTE WEITE



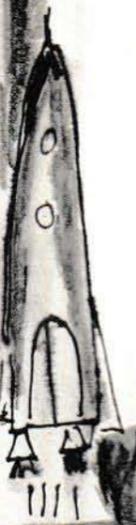
$\frac{1}{2} D s^2 = \frac{1}{2} m v^2 \sim W$
DOPPELTE WURFWEITE
DOPPELTE FEDERAUSLENKUNG

ENERGIEERHALTUNG



FAZIT

AUSBLICK



Das sprechende Physikmagazin zur kollaborativen Improvisation

Für ein schnelles, spannendes und effektives Erreichen selbst gesteckter Ziele



Der physikalisch kollaborative Improvisationsgarten



cc by ottokraz