Der Energieerhaltung auf der Spur

http://www.uni-siegen.de/fb7/didaktik/materialien_offen/

Wie entwickeln wir die Fähigkeit der Lernenden zur Lösung von Problemen?

- EPA`s Physik und Standards in der Physik
- Physik - typische Denkwerkzeuge entwickeln!
- Der historische Weg zur Energieerhaltung
- Beispiele zur Energieerhaltung in der Mechanik
- Interessante Beispiele zur Energieerhaltung aus anderen Gebieten

Jedes Jahr das gleiche Bild…

- 52 Anfänger im Lehramtsstudium Physik

Wo ist die Energieerhaltung von Bedeutung? Nennen Sie Anwendungen/Formulierungen der Energieerhaltung in jedem Teilgebiet!

Mechanik	114
Thermodynamik	26
Elektrodynamik	33
Astronomie	34
Moderne Physik	24

- Lässt sich der Energieerhaltungssatz herleiten?

  Ja: 45

Schlussfolgerungen

- Um zu Bewerten und Erkenntnisse selbständig zu gewinnen sind fachspezifische Denkwerkzeuge unerlässlich – das ist etwas anderes als die ausgewiesenen Methoden der Erkenntnisgewinnung bei den Standards oder allgemeine heuristische Prinzipien!
- Physikalische Prinzipien tragen den Charakter von Denkwerkzeugen!
- Wir vernachlässigen das Denken in Prinzipien und Gesetzmäßigkeiten (leider viel oft)! Physik ist eine Prinzipien-wissenschaft!
- Herausragendes Prinzip und Gesetzmäßigkeit ist die Erhaltung, speziell der Energieerhaltungssatz!

Welche Bedeutung hat die Energieerhaltung (Erhaltung allgemein)?

Ist Gesetz:
z.B. Energieerhaltung in der Mechanik

Ist Gesetzmäßigkeit:
z.B. 1.Hauptsatz der Thermodynamik

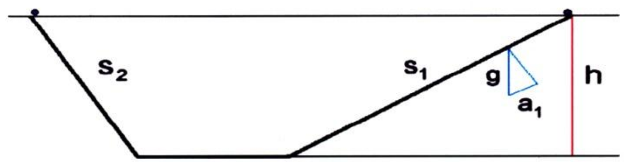
Ist fundamentales Denkwerkzeug und Denkprinzip:
z.B. Beta-Zerfall, bei den Aufgaben, die ich als Beispiel gleich zeige…

- Hist. Entwicklung des Energiebegriffes
  (Wilhelm Leibniz, James Prescott Joule, Robert Meyer und Hermann von Helmholtz)
- Gesetz von der Erhaltung der Energie
- Pot. und kin. Energie
- Anwendungen

Der historische Weg zur Energieerhaltung

Die theoretische Lösung:

1. **Schritt:**



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

$$\frac{a_1}{g}=\frac{h}{s_1};\frac{a_2}{g}=\frac{h}{s_2}$$

$$s_1=\frac{gh}{2s_1}t_1^2;s_2=\frac{gh}{2s_2}t_2^2$$

$$\frac{s_1^2}{t_1^2}=\frac{s_2^2}{t_2^2}=const.=\frac{gh}{2}$$

$$s_1=\frac{a}{2}t_1^2;v=at_1$$

$$s_1=\frac{vt_1}{2}$$

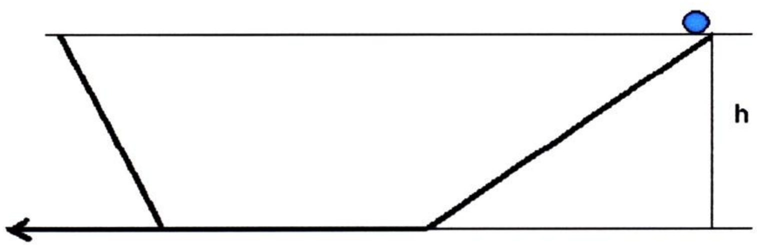
$$\frac{s_1^2}{t_1^2}=\frac{v^2}{4}=\frac{gh}{2}$$

$$\boxed{\frac{v^2}{2}=gh}$$

2 Galilei

1637/38 „Discorsi“

Bewegungen auf der geneigten Ebene und der Trägheitssatz

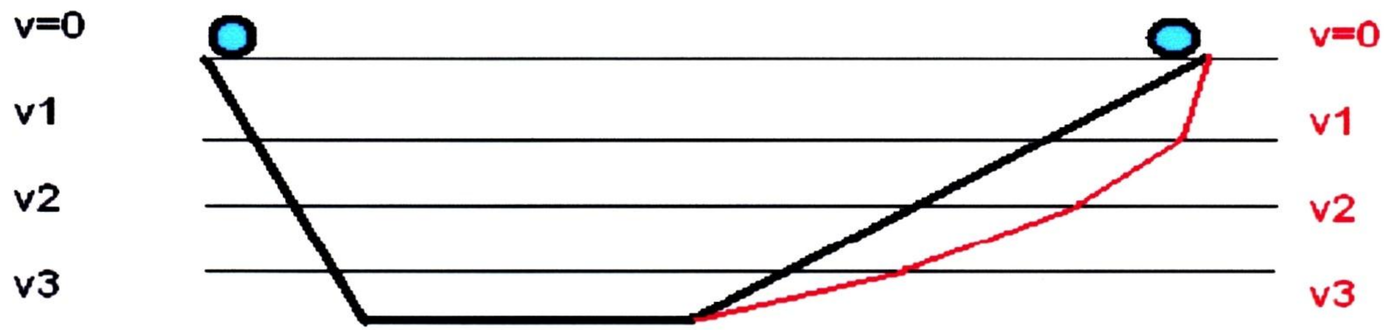


Steigt die Kugel wieder auf die gleiche Höhe?
Tut sie dies auch bei beliebigen Bahnformen?

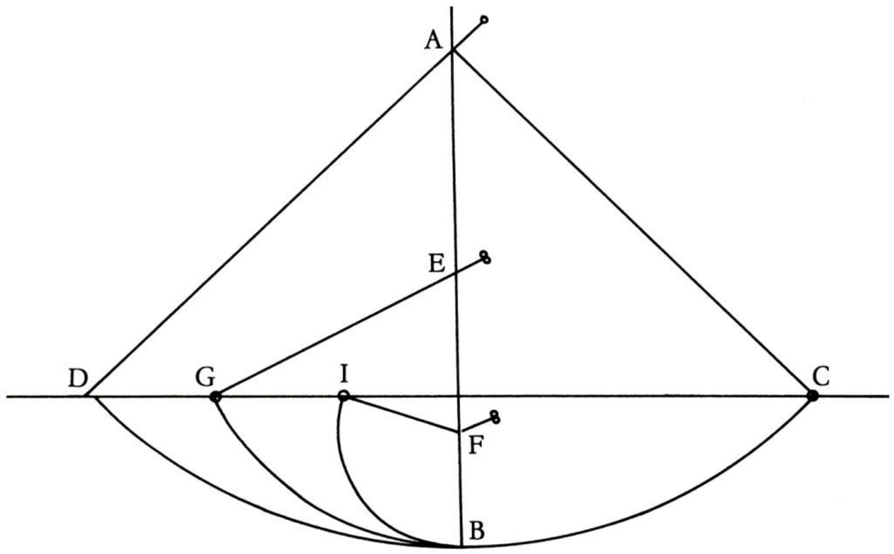
<u>Experimentiervorschläge:</u> geneigte Ebenen, das gehemmte Pendel, Adaption von Huygens Idee des Zykloidenpendels

Vermutung: Es gibt einen eindeutigen Zusammenhang h=f(v).

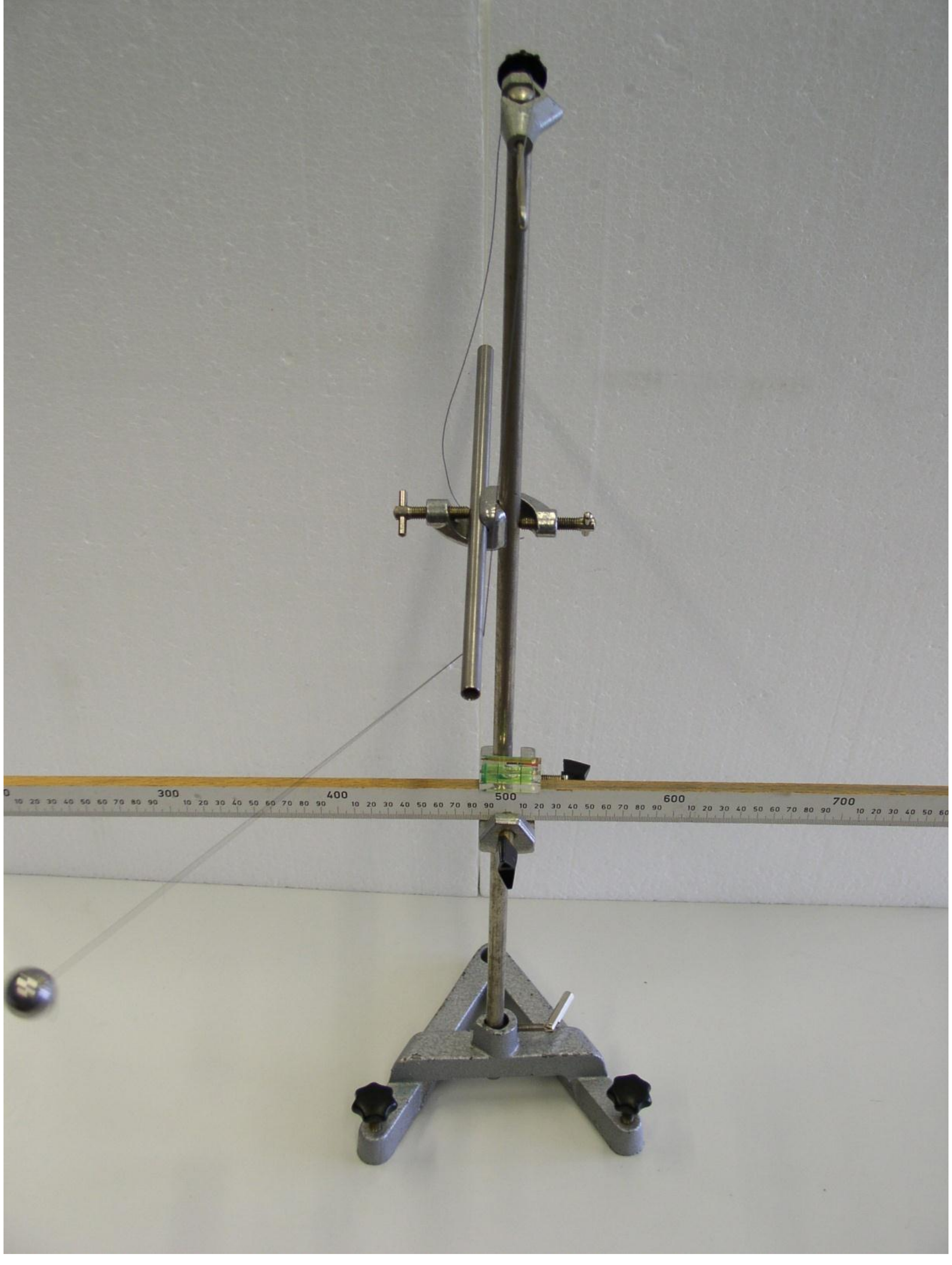
Der Übergang zu beliebigen Bahnformen



Das Quadrat der Geschwindigkeit nach dem „Fall" und die Fallhöhe sind zueinander äquivalent.
Zu jeder Geschwindigkeit gibt es eine (potentielle) Höhe und jeder Höhe entspricht genau eine Geschwindigkeit (ohne Reibung).



„Hieraus können wir schließen, dass die im Punkte B erlangte Geschwindigkeit der Kugel beim Hinabfallen durch den Bogen CB genüge, um den Anstieg um einen gleich großen Bogen BD zu gleicher Höhe zu bewirken.“ (Discorsi)


300
400
500
600
700


Ich betrachte den Stoß von Körpern.
Die Menge an Bewegung im Universum bleibt immer gleich. Diese Bewegungsmenge wird durch Masse und Geschwindigkeit der Körper festgelegt.

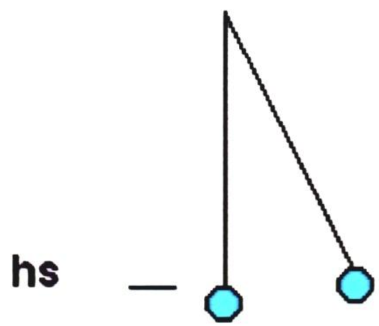
„Hätte also Gott bei der Erschaffung der Materie auch deren Teilen verschiedenartige Bewegung erteilt und erhalte er die Materie stets unverändert in ihrer Gesamtheit, so ist es eine sehr naheliegende und vernunftsmäßige Annahme, dass Gott aus denselben Gründen, aus denen er die Materie schuf, und auf dieselbe Art, auf die er es tat auch stets dieselbe Menge an Bewegung in ihr erhalte."

René Descartes

3 Wie die Masse ins Spiel kam

Preisaufgabe der Royal Society 1668/1669

Ch. Huygens und das Schwerpunktprinzip: Der Schwerpunkt des Systems kann weder fallen noch steigen.



$$const. = h_s = \frac{m_1 h_1 + m_2 h_2}{m_1 + m_2}$$

$$const. = m_1 h_1 + m_2 h_2 = \left(h_1 = \frac{v_1^2}{2g} \right) = m_1 \frac{v_1^2}{2g} + m_2 \frac{v_2^2}{2g}$$

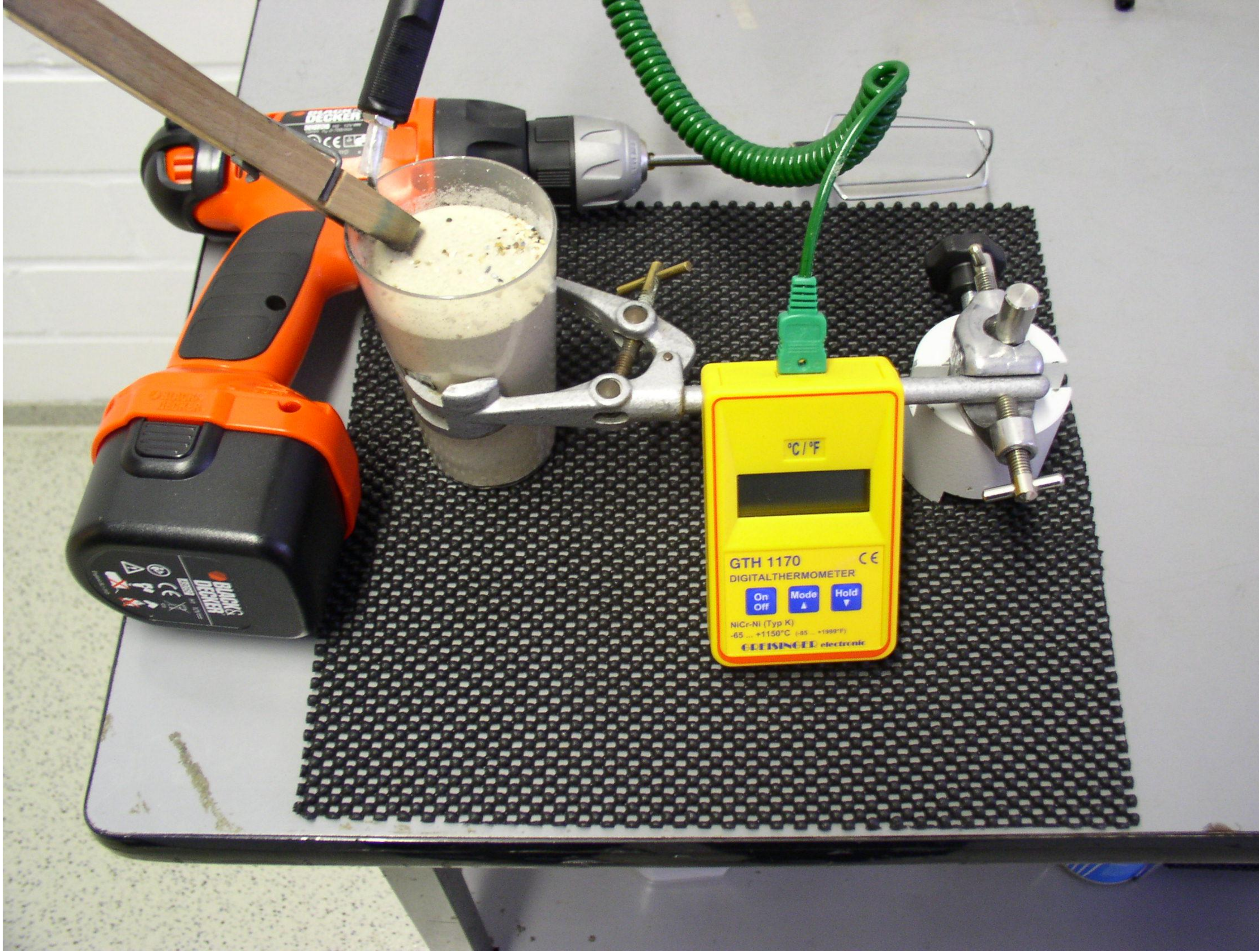
$$\sum_i m_i g h_i = \sum_i m_i \frac{v_i^2}{2}$$ (ohne Reibung)

potentielle Energie **kinetische Energie**


Ihr habt doch beide Recht.
Fängt ein Körper infolge seiner Schwere an, sich zu bewegen, dann kann sein Schwerpunkt nicht höher steigen, als er am Beginn der Bewegung war.
Dabei gilt: $\frac{m}{2} \cdot v^2 = m \cdot g \cdot h$

Kurze Hinweise zur allgemeinen Energieerhaltung

Haben wir die Thermodynamik zur Verfügung oder nur allgemeine Formulierungen zur generellen Energieerhaltung?



°C/°F
GTH 1170
CE
DIGITALTHERMOMETER
On Off
Mode
Hold
NiCr-Ni (Typ K)
-65 ... +1150°C (-85 ... +1999°F)
GREISINGER electronic
BLACK & DECKER

Nun einige Beispiele, wie man die Fähigkeiten „Bewertung“ und „Erkenntnisgewinnung“ bei Lernenden durch ausführliche Diskussion der Energieerhaltung schärfen kann…

Kin. Gastheorie:

Druck ist Kraft pro Fläche:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{F \cdot s}{A \cdot s} = \frac{E}{V}$$

$$pV = E$$

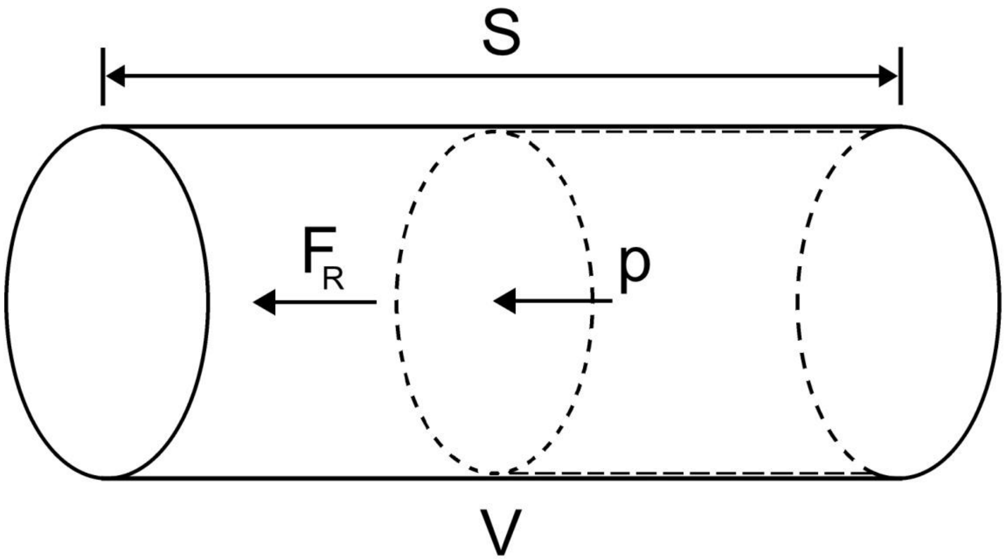
Druck ist äquivalent zur Energiedichte!

$$pV = NE = N\frac{2}{3} \cdot \frac{m}{2} v^2$$

Die Luftwiderstandskraft

$$F_R = \frac{1}{2} c_w A \rho v^2$$

Im LB, ab S. 82, ohne Herleitung



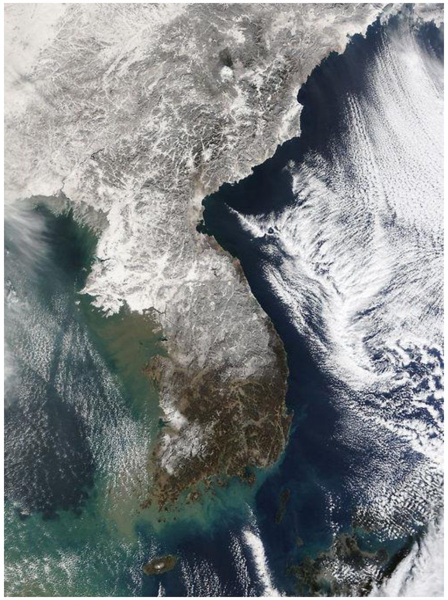
$$\frac{m}{2} v^2 = F_R \cdot s = pV = \frac{F_R}{A} V$$

Ergibt: $$F_R = \frac{1}{2} A \rho v^2$$

Zeitungsmeldung:

Im Oktober 2006 schockiert Nordkorea die Welt mit der Nachricht von einem Atomtest. Der Sicherheitsrat der Vereinten Nationen reagiert am 14. Oktober mit der Resolution 1718 (2006) und beschließt Embargomaßnahmen.

Könnte sich Nordkorea im Falle eines totalen Wirtschaftsembargos selbst versorgen?



Satellitenbild Nord Koreas vom 3.1.2010

Könnte sich Nordkorea im Falle eines totalen Wirtschaftembargos selbst versorgen?

Energieerhaltungsansatz:

Energieentwertung:

23 Millionen Einwohner x Grundumsatz des Menschen (ca.60W) = $1{,}4 \cdot 10^9$ W

$1{,}2 \cdot 10^{10}$ kWh a^{-1}

Energiezufuhr:

Sonneneinstrahlung: 1500 kWh $m^{-2}a^{-1}$,

Wirkungsgrad der Photosynthese: 0,1% - 1%

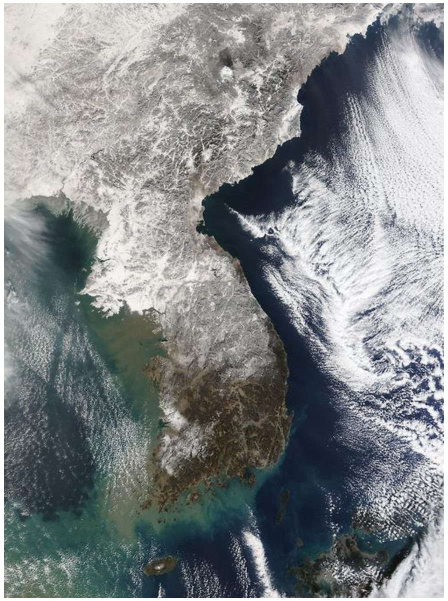
7,5 kWh $m^{-2}a^{-1}$ Energie in der Vegetation

(Korrekturfaktor 7/12) aufgrund von Vegetationsperiode

4,37 kWh $m^{-2}a^{-1}$

für die nutzbare Fläche Nordkoreas (30%):

$1{,}6 \cdot 10^{11}$ kWh a^{-1}



Satellitenbild Nordkoreas vom 3.1.2010

122762 km^2

Vegetationsperiode:

7 Monate

- Wärme: Für 6 Personen im Winter ein Ofen a 2000W: ergibt 3.800.000 Öfen:
- 5 Monate 12 h pro Tag heizen:

$$\mathbf{4{,}56 \cdot 10^{11}\ kWh\ a^{-1}}$$

Zur Verfügung stehen:

$$\mathbf{1{,}6 \cdot 10^{11}\ kWh\ a^{-1}}$$

Das Regime kann das Volk ernähren, aber nachhaltig Heizen ist praktisch unmöglich!

Grenzen des Wachstums – Co_2 -frei

Die Leuchtkraft der Sonne: $3.8 \cdot 10^{26} W$

Unser gegenwärtiger Leistungsumsatz: $1.35 \cdot 10^{13} W$

Das jährliche Wachstum: 4%

$$1,35 \cdot 10^{13} W \cdot 1.04^{x} = 3.8 \cdot 10^{26} W$$

In x=790 Jahren erreichen wir die Leuchtkraft der Sonne!

Grenzen des Wachstums – andere Beispiele

- Wann hört die Erde auf zu rotieren (Gezeitenkraftwerke)?
- → 360 Jahre
- Wann müssen wir die Erde lückenlos mit Solarzellen tapezieren?
- → 230 Jahre
- Weitere Beispiele sind – auch von Schülern – recht leicht zu finden und zu berechnen.

- Geothermischer Energiefluss: $4 \cdot 10^{13} W$

→ 0 Jahre

- Bevölkerungsdichten in einigen asiatischen Städten:

  bis zu **160000 Personen pro Quadratkilometer!!!**

  (Armut, Überlebenskampf, Wunsch nach einem amerikanisch orientierten Leben)

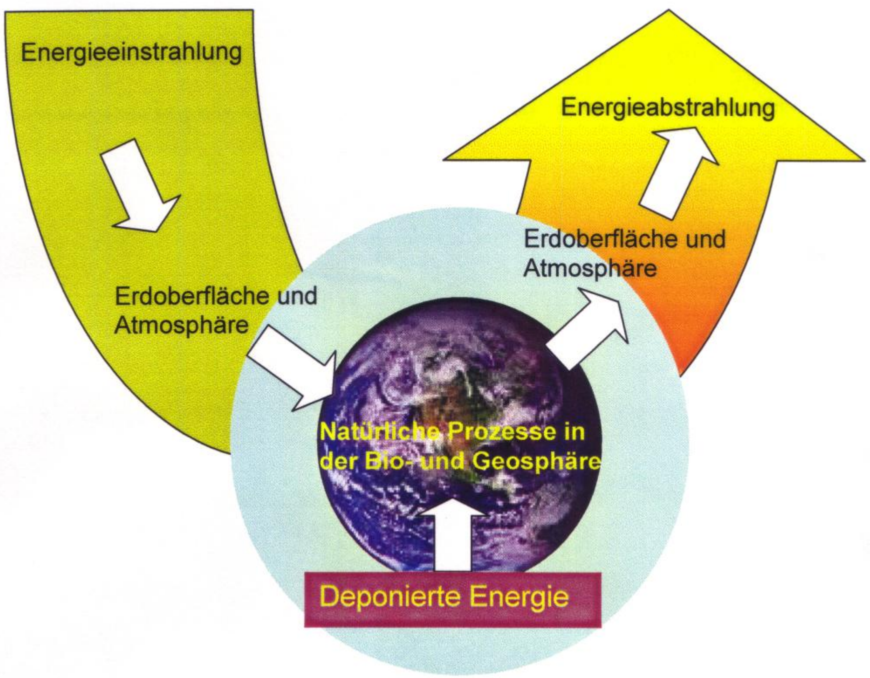
  d.h. **10000W** pro Person als mittlerer Leistungsbedarf

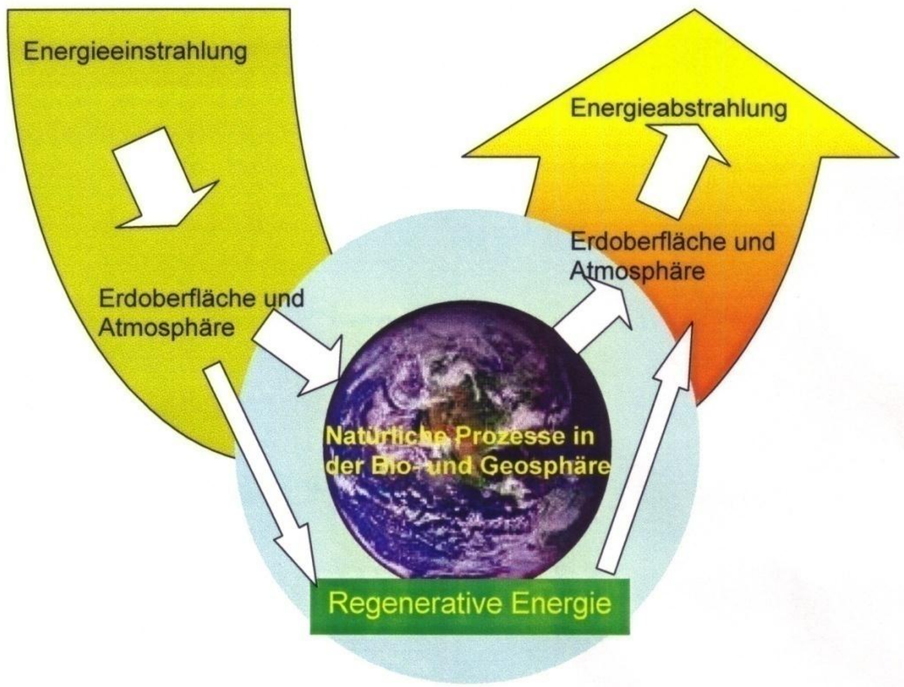
  Nach den Stefan-Boltzmann-Gesetz entspricht dies einer Flächentemperatur von **~140°C** !

→ haben wohl keine

(gute) Zukunft

Energieströme regenerativer und deponierter Energieformen aus planetarer Sicht



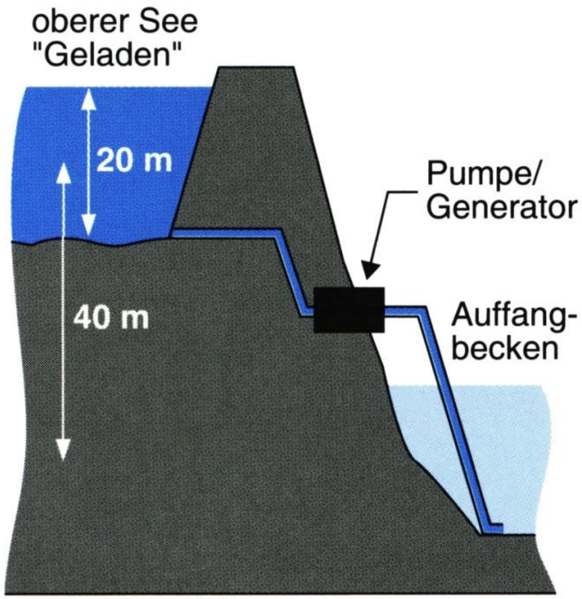


Kohle, Kernenergie, Erdöl …

Solarenergie, Wasser, Wind, Biomasse

Das heute (noch?) bestehende Problem der Zwischenspeicherung:
(Quelle: Heinloth 2011, siehe nachfolgende Folie).

Der jährliche Strombedarf in Deutschland 2006: 520000 GWh
Um die Stromversorgung zu sichern müssen ca. ¼ dieses Strombedarfes in Pumpspeicherwerken vorübergehend gespeichert werden, wenn die Energieversorgung z.B in hohem Maße durch Wind und Sonne gewährleistet werden soll:

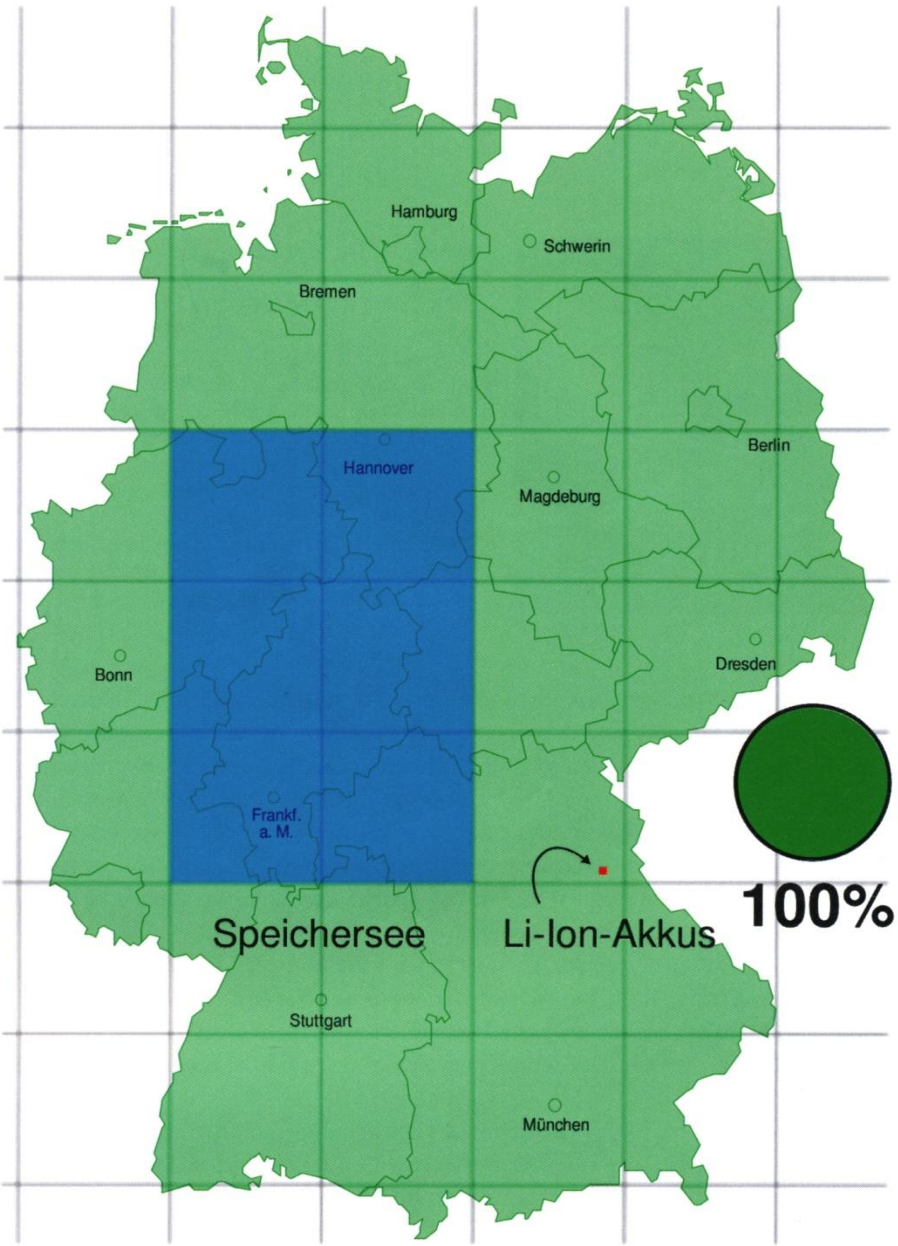


$$E = mgh = 20000kg \cdot 10ms^{-2} 40m = 8 \cdot 10^6 Ws$$

Annahme: Keine Verluste!

Resultat: Pro Quadratmeter können 2,2kWh gespeichert werden – man vergleiche mit dem Bedarf einer Wohnung in Spitzenzeiten!

Quelle für dieses und die folgenden Bilder zu Flächen-Energievergleichen: Heinloth, Energie für unser Leben, in: Martienssen, Röß (Hrsg.): Physik im 21. Jh., Springer, 2011)



Eine „nützliche“ „Konstante“ – die Biomassenkonstante
Pflanzen können im Mittel 1W pro Quadratmeter in Biomasse umsetzen (siehe Nordkorea)

<u>Als grobe Schätzung:</u>

1 Kamin 8kW hat demzufolge einen Flächenbedarf von ca. 20000 Quadratmeter.

Leipzig Stadtfläche: 29736ha=297 360 000 Qudratmeter

Mithin Fläche für 14868 Kamine (Familien) – doch wo wohnen und was essen???

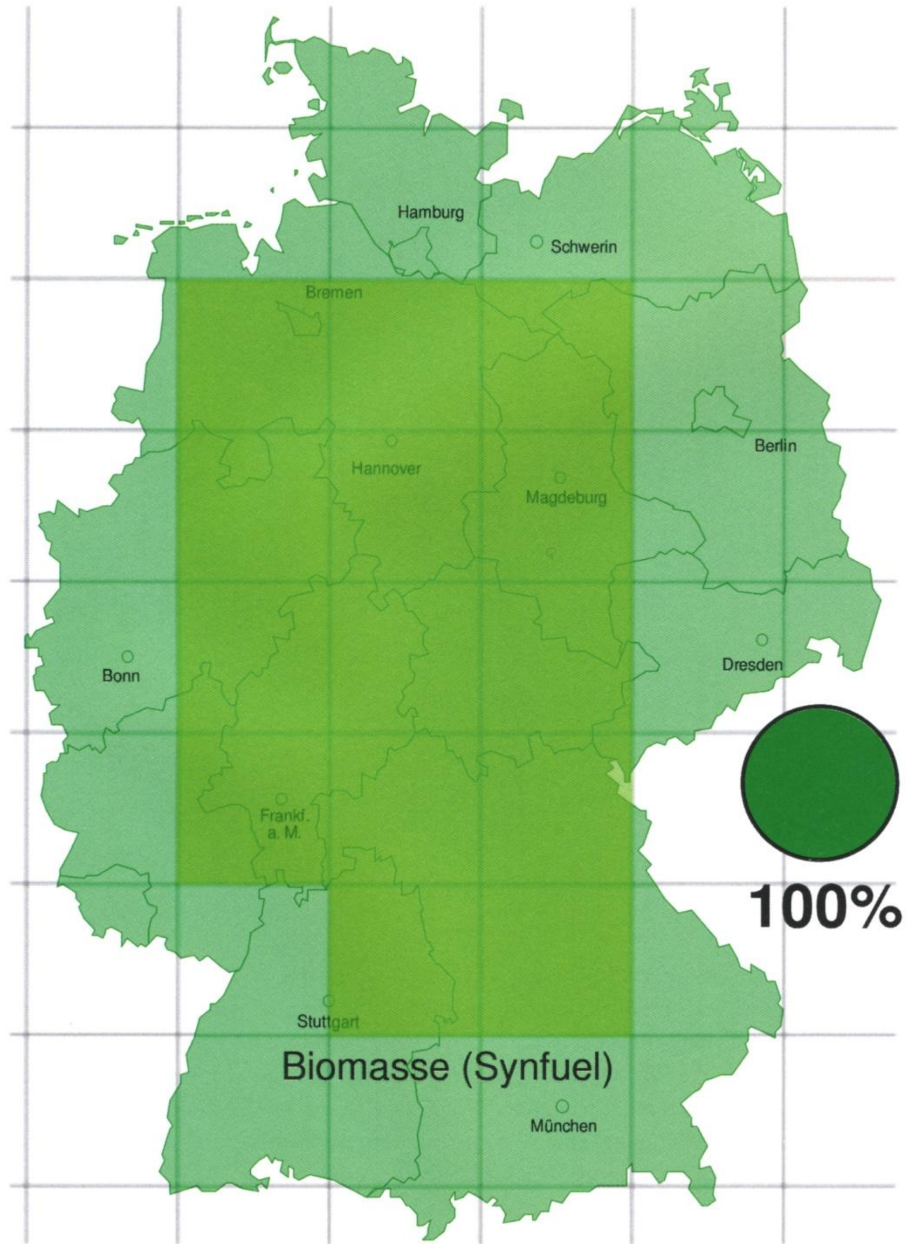
Solche Rechnungen erinnern an die Energiekrisen im Mittelalter und der beginnenden Neuzeit.

Für ganz Deutschland (357022 Quadratkilometer):

Pro EW 5000W Leistung bedeuten günstigenfalls ca. 5.000 Quadratmeter Biomassenfläche

Bei 81,8 Mill Einwohnern: 409000 Quadratkilometer

Nebenstehend gerechnet mit dem Bedarf zur Herstellung von Synfuel nach Heinloth



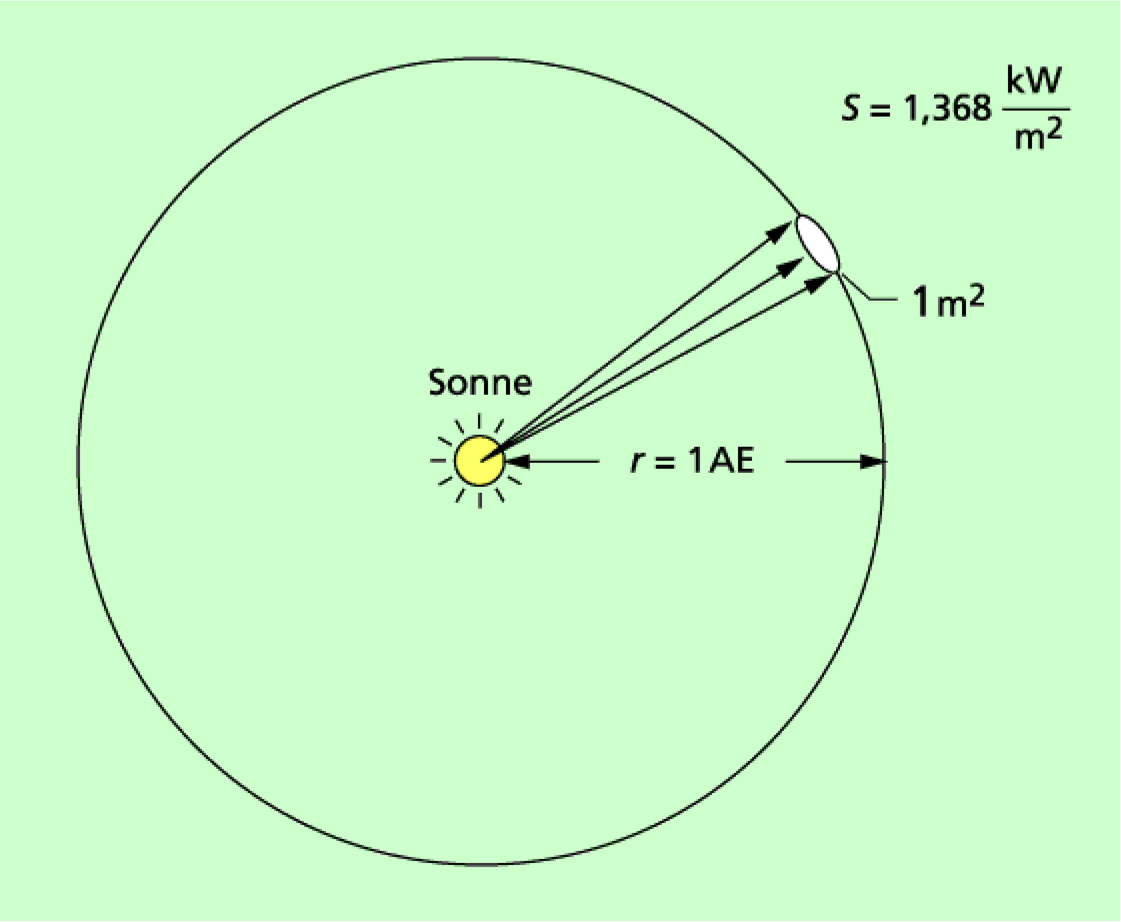
Und nun der allgemeinere Blick…

Sonnenenergie:
Von der Sonne treffen in Erdentfernung in jeder Sekunde 1,368 kJ auf einen Quadratmeter.

a) Welche Strahlungsenergie trifft jede Sekunde die gesamte Querschnittsfläche der Erde?
b) B) Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit dem gegenwärtigen Leistungsbedarf unserer Zivilisation von etwa 10 hoch 13 W.
c) Welche Energiemenge strahlt die Sonne in jeder Sekunde insgesamt ab?

LB S. 556/14

Von der Solarkonstante zur mittleren Strahlungsleistung pro Quadratmeter



$$s = \frac{L}{4\pi r^2}$$

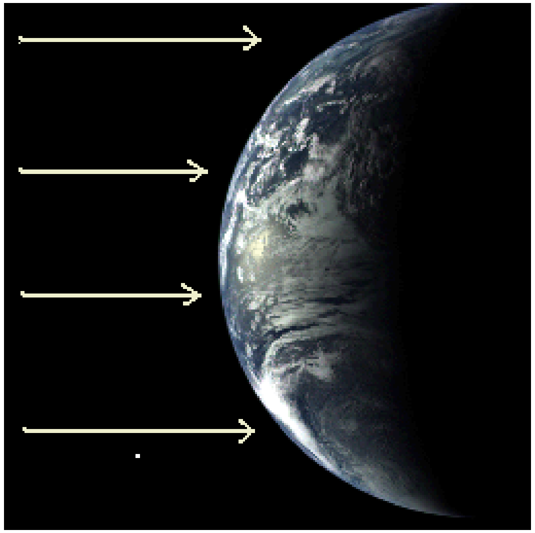
L: Leuchtkraft der Sonne in Watt pro Quadratmeter

r: Abstand Erde-Sonne

Solarkonstante: Im LB ab S. 551

Der Strahlungsantrieb wird auf die gesamte Erdoberfläche bezogen

… und die Erde rotiert recht schnell, also:



$$S = \frac{\pi R^2 s}{4\pi R^2} = \frac{1}{4} s$$

S: Strahlungs-antrieb
R: Erdradius

Außerdem strahlt die Erde 30% der ankommenden Strahlung zurück (A: Albedo), also:

$$S = \frac{1}{4}(1 - A)s$$

Bei gleichmäßiger Verteilung auf 1 Quadratmeter Erdoberfläche:

$$\Delta S = \frac{1}{4}(1 - A)\Delta s = 0{,}175\Delta s$$

$$\Delta S = 1{,}6Wm^{-2} \xrightarrow{\text{x 5,7}} \Delta s = 9{,}1Wm^{-2}$$

$$s = 1370Wm^{-2} \xrightarrow{\text{x 0,175}} S = 240Wm^{-2}$$

Wir verändern den natürlichen Strahlungshaushalt der Erde um ~1% (laut IPCC).

LB. S. 228/6
„Treibhauseffekt“
S. 228/7 „Globale
Erwärmung“

Risiken der Nutzung regenerativer Energien - machen wir die gleichen Fehler erneut?

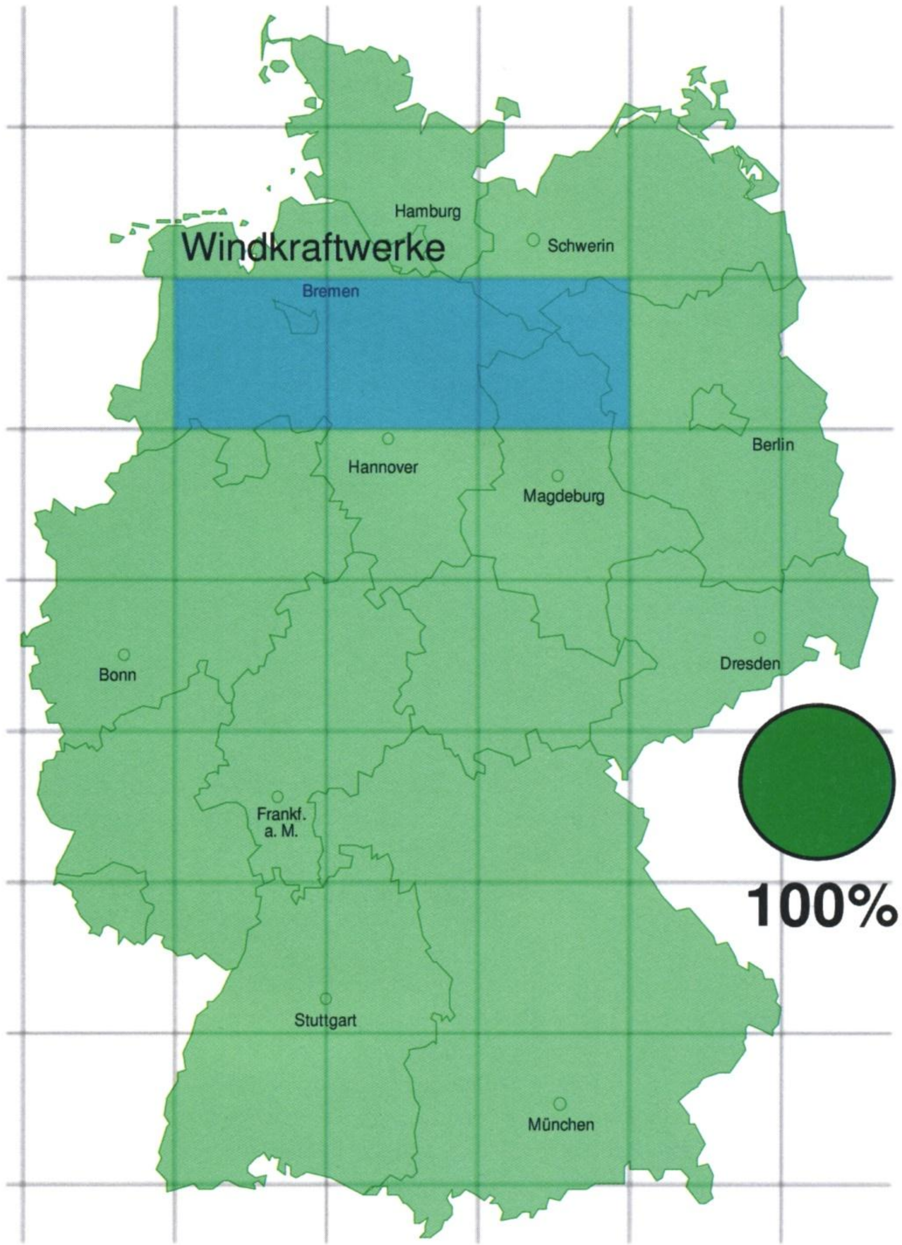
- Zentrale Frage: Wie viel dürfen wir aus dem planetaren Energiestrom abzweigen, ohne dass wir den Ökosystemen zu viel wegnehmen?
- Antwort (vermutlich): Nicht sehr viel…
- Indizien: z.B. Natürliche Wirkungsgrade in der unbelebten und belebten Natur

  Wind- und Wasserkraft pro Quadratmeter:

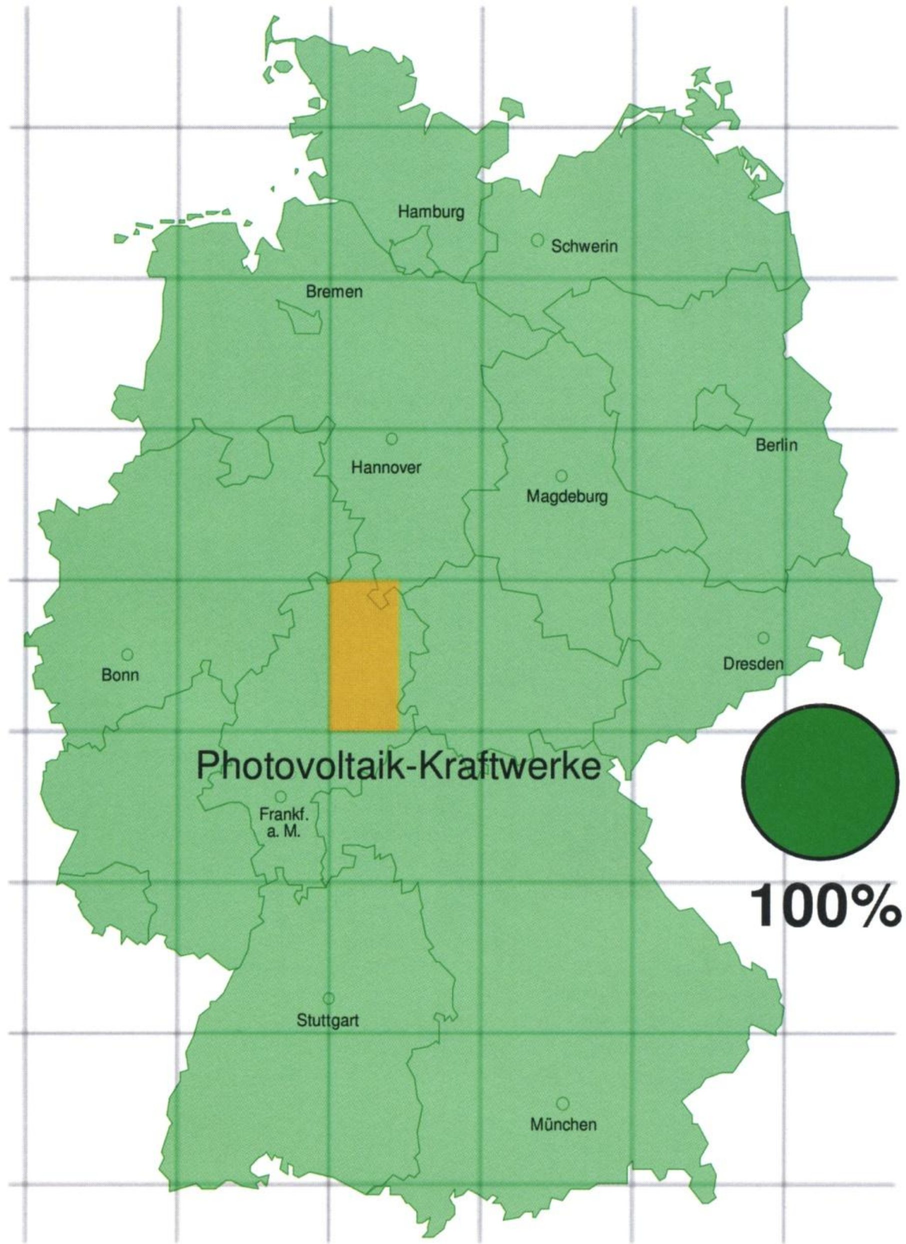
$$\eta = \frac{\Delta T}{T} \qquad \Delta T \approx 10\mathrm{K},\ T=288\mathrm{K} \Rightarrow \eta=0{,}03 \text{ bzw. } 7Wm^{-2}$$

Biomassenkonstante: $1Wm^{-2}$

Wirkungsgrad und seine Diskussion: LB S. 208ff

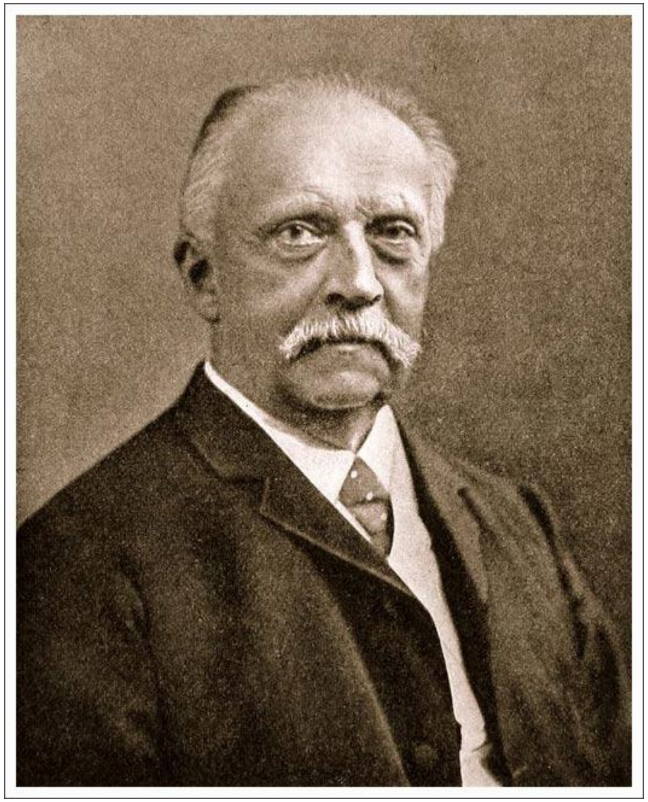


Windkraftwerke
Hamburg
Schwerin
Bremen
Hannover
Magdeburg
Berlin
Bonn
Dresden
Frankf.
a. M.
Stuttgart
München
100%

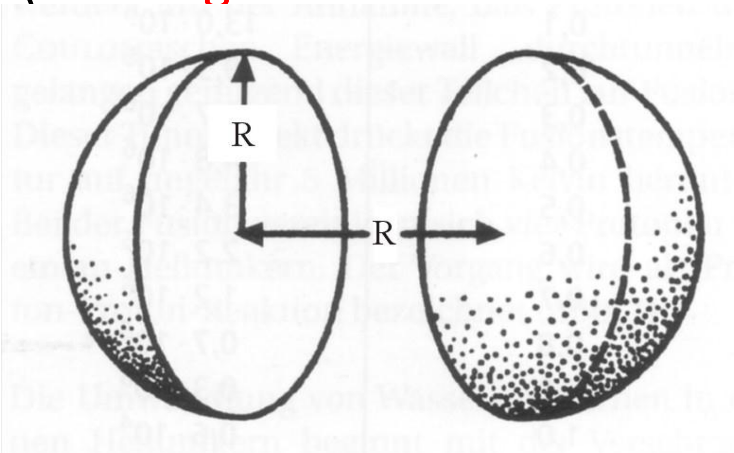

Hamburg
Schwerin
Bremen
Hannover
Berlin
Magdeburg
Bonn
Dresden
Photovoltaik-Kraftwerke
Frankf. a. M.
100%
Stuttgart
München

Bedeutende Physiker: Informieren Sie sich über das Leben und Wirken von J.R. Mayer, J.P. Joule und H. v. Helmholtz.
Bereiten Sie zu einem der drei Forscher einen Vortrag vor. Gehen Sie dabei insbesondere auf die Erkenntnisse zur Energieerhaltung ein. LB S. 107/1

Helmholtz: „Über die Erhaltung der Kraft“ (Vortrag in Königsberg nimmt Bezug auf die Sonnenwärme)



H. v. Helmholtz und die Kontraktionszeit
(Halbkugelmodell im LB S. 552)



$$F = G\frac{M^2}{4R^2}$$

$$E = \frac{GM^2}{4R} = 9{,}5 \cdot 10^{40}\,J$$

$$t = \frac{E}{L} = 8 \cdot 10^6\,a$$

$$E = \frac{GM^2}{4}\left(\frac{1}{R-1m} - \frac{1}{R}\right)$$

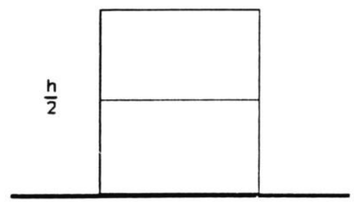
$$t = 4d$$

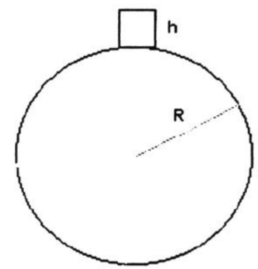
$$9000m \rightarrow 100a \rightarrow 10^{-5}\,R$$

Wieso besitzen manche Himmelskörper in unserem Planetensystem eine kugelförmige Gestalt und andere eine irreguläre Form ?

(Potentielle Energie, chemische Bindungsenergie)

Überlegung:





$$E_B > E_{pot} \quad (1)$$

$$N\,0{,}1\,eV > m\,g\,h/2 \qquad N\,0{,}1\,eV > N\,A\,u\,g\,h/2 \quad (2)$$

$$g = G\,M / R^2 \quad (3)$$

$$C\,R/M > h/R\,; \quad C = 0{,}2eV/A\,u\,G \quad (4)$$

u=56 (Eisen) oder u=50 (Quarz)

Objekt	Masse $[kg]$	Radius $[m]$	max. Welligkeit $\frac{h}{r_H}$ nach (4)	Gestalt
Marsmond Daimos	$2 \cdot 10^{14}$	$\sim 6 \cdot 10^3$	$\sim 10^5$	regellos
Erdmond	$7.35 \cdot 10^{22}$	$1.74 \cdot 10^6$	0.12	eine „bergige“ Kugel
Mars	$6.83 \cdot 10^{23}$	$3.39 \cdot 10^6$	$2.5 \cdot 10^{}$[illegible]	kugelförmig
Erde	$5.97 \cdot 10^{24}$	$6.37 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^{-3}$	kugelförmig

Wie hoch können eigentlich die Berge auf anderen Planeten sein ?

(Potentielle Energie, chemische Bindungsenergie)

Überlegung: Für den höchsten Berg auf einem Planeten gilt die Ungleichung (4) näherungsweise als Gleichung.

$$C\,R / M = h / R$$

Betrachten zwei erdähnliche Planeten: Ihre Dichten sind gleich.

$$M = 4\,\pi\,R^3\,\rho / 3$$

$$3\,C\,R / 4\,\pi\,R^3 \rho = h / R$$

$$\rho = 3\,C\,R^2 / 4\,\pi R^3 h$$

$$R_1 / R_2 = h_2 / h_1$$

Mt. Everest: $h = 8800$ m
Radius Erde: $R = 6371$km
Radius Mars: $R = 3394$ km

Auf dem Mars könnte es Berge mit der maximalen Höhe $h \approx 18000$ m geben.

Olympus Mons: 25000 m