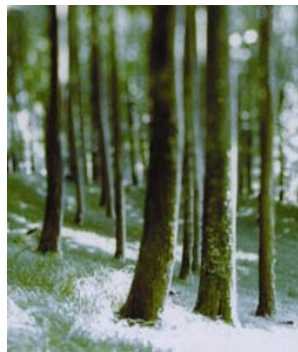


4th Summer School on Sustainable Energy Management Systems (SEMS)

Quellen Erneuerbarer Energien und ihre Umwandlung in nutzbare Energieformen

Dr. Michael Stöhr, B.A.U.M. Consult GmbH
Słubice, 28. April 2011



Einleitung

ENERGIE – LEISTUNG – ZEIT



- Energie kann in verschiedenen Formen vorliegen: Wärme, elektrische Energie, chemische Energie, mechanische Energie, ...
- Energie kann konstant sein oder sich ändern
- Leistung bezeichnet einen Energiefluss, dabei wird Energie verschoben oder umgewandelt, aber weder erzeugt noch vernichtet
- Energie [kWh] = Leistung [kW] · Zeit [h]
- Ein Energiebedarf oder eine -erzeugung wird üblicherweise in kWh/a angegeben; dies ist genau genommen eine Leistungsangabe:

$$1 \text{ kWh/a} = (1 \text{ kWh/a}) : (8766 \text{ h/a}) = 0,114 \text{ W}$$



- Zwei Angaben geben Auskunft über die Energieerzeugung einer Anlage:
 - Nennleistung [kW], P_{nenn}
 - Volllaststundenzahl [h], T_{Volllast}
- Die Nennleistung ist die Leistung, die eine Anlage unter bestimmten Bedingungen abgibt, meistens ist sie gleich oder nahe der Höchstleistung.



- Die Gesamtenergie ist das Integral der von der Anlage abgegebenen Leistung über einen bestimmten Zeitraum, z.B. ein Jahr:

$$E_{\text{Jahr}} = \int_{1.1., 0h}^{31.12., 24h} P(t) dt$$

- Die Volllaststundenanzahl ist definiert als Quotient aus Jahresgesamtenergieertrag und Nennleistung:

$$T_{\text{Volllast}} = E_{\text{Jahr}} / P_{\text{nenn}}$$

- Die Jahresgesamtenergie ist also das Produkt aus Nennleistung und Volllaststundenanzahl:

$$E_{\text{Jahr}} = P_{\text{nenn}} \cdot T_{\text{Volllast}}$$



Inhalt der Vorlesung

1. Quellen Erneuerbarer Energien
2. Nutzbare Formen von Energie
3. Technische Umwandlung Erneuerbarer Energie in nutzbare Formen



Teil 1

QUELLEN ERNEUERBARER ENERGIEN

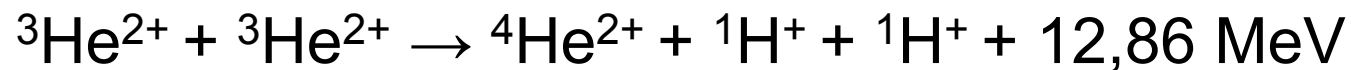
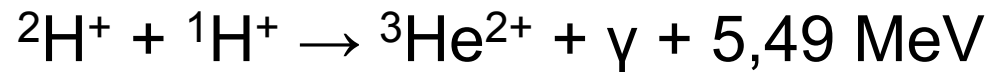
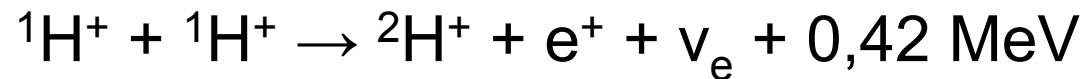
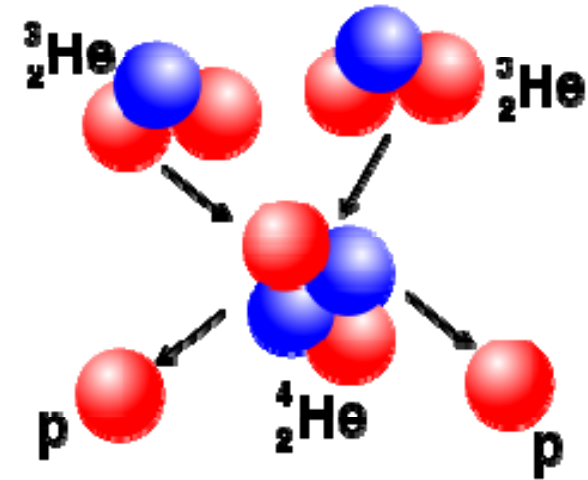
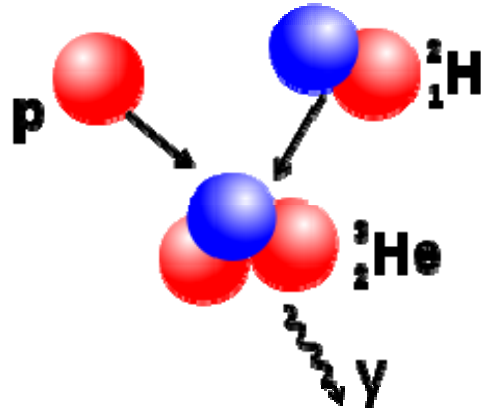
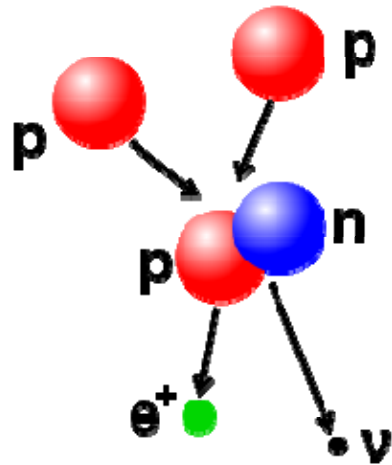


Steckbrief: Sonneneinstrahlung

- Quelle der Energie: Umwandlung von Sonnenmasse in Energie durch Kernfusion (Masse ist eine Form von Energie!)
- Energieformen der Anteile, die die Erdoberfläche erreichen: UV-Licht, sichtbares Licht, Wärme- und Mikrowellenstrahlung
- Sekundäre Energieformen: Oberflächennahe Geothermie; Windenergie, Wasserkraft, Strömungs-, Wellen- und Salzgradientenenergie; Biomasse
- Gesamtleistung: 101.000 TW = 885 Mio. TWh/a
- 6.700 faches des weltweiten Energiebedarfs



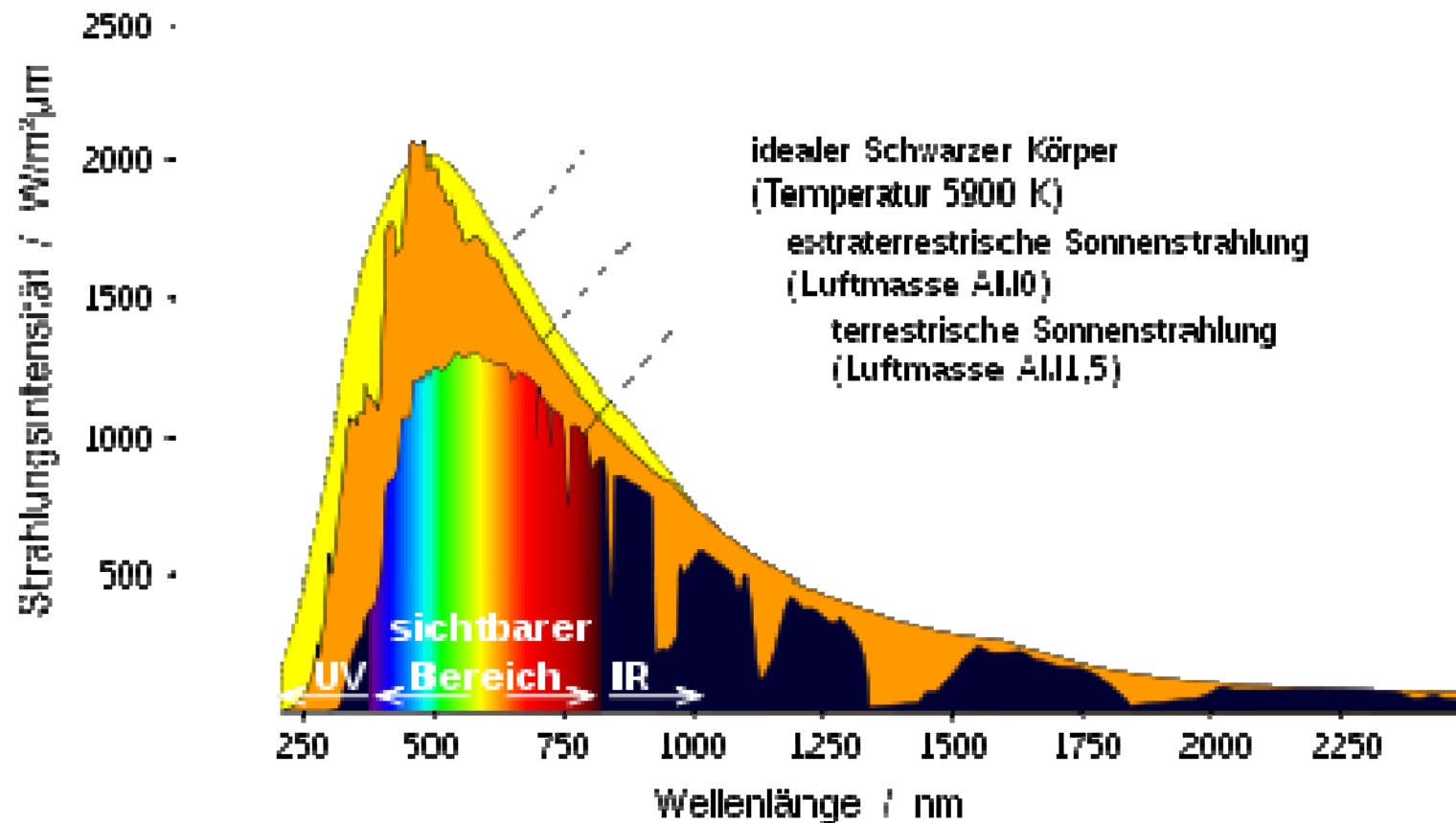
Kernfusion in der Sonne: $E = mc^2$



Quelle: Wikipedia, Proton-Proton-Reaktion



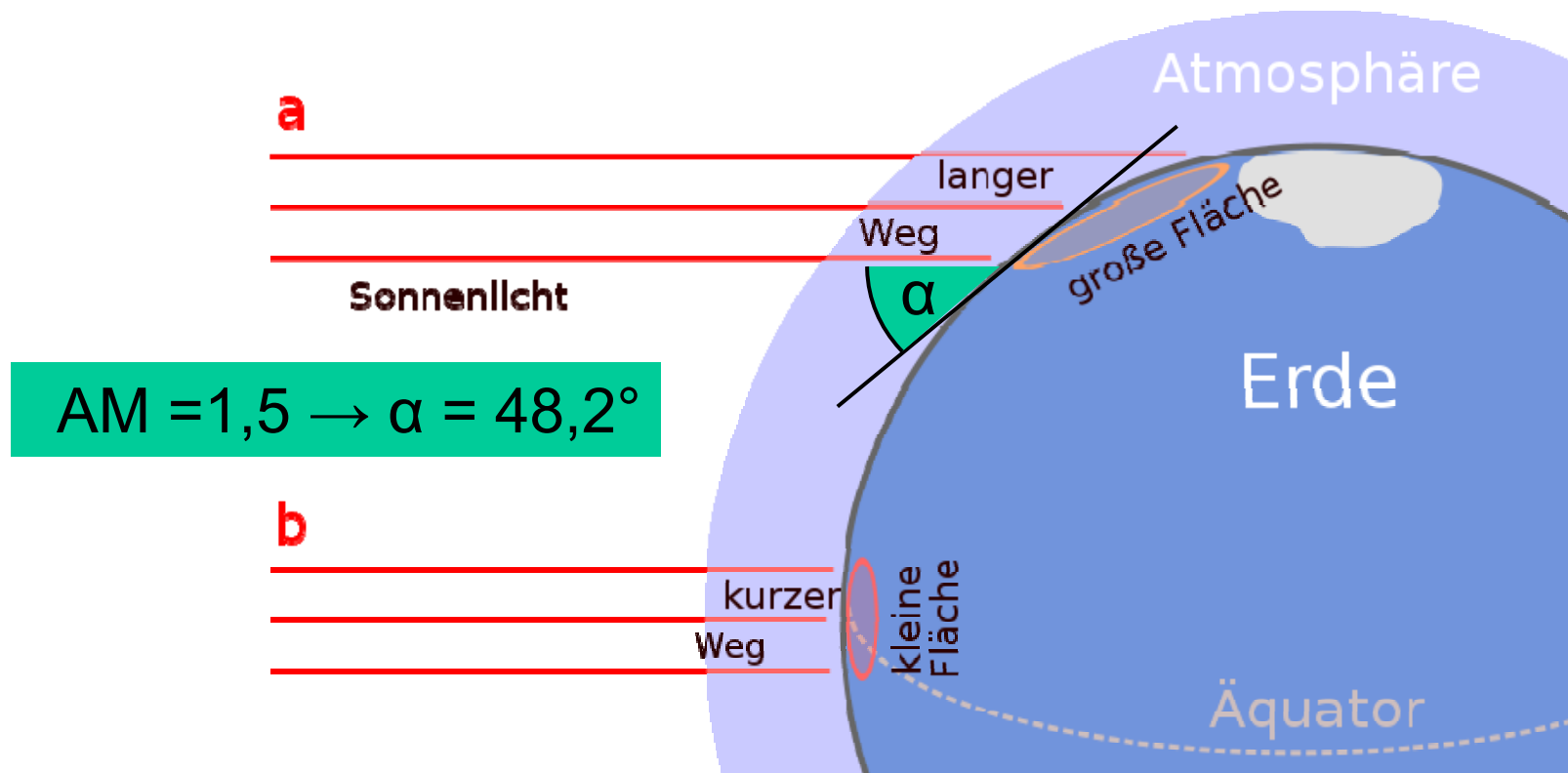
Strahlungsspektrum der Sonne



Quelle: Wikipedia, Sonne Strahlungsintensitaet.svg



Weg des Sonnenlichts durch die Atmosphäre



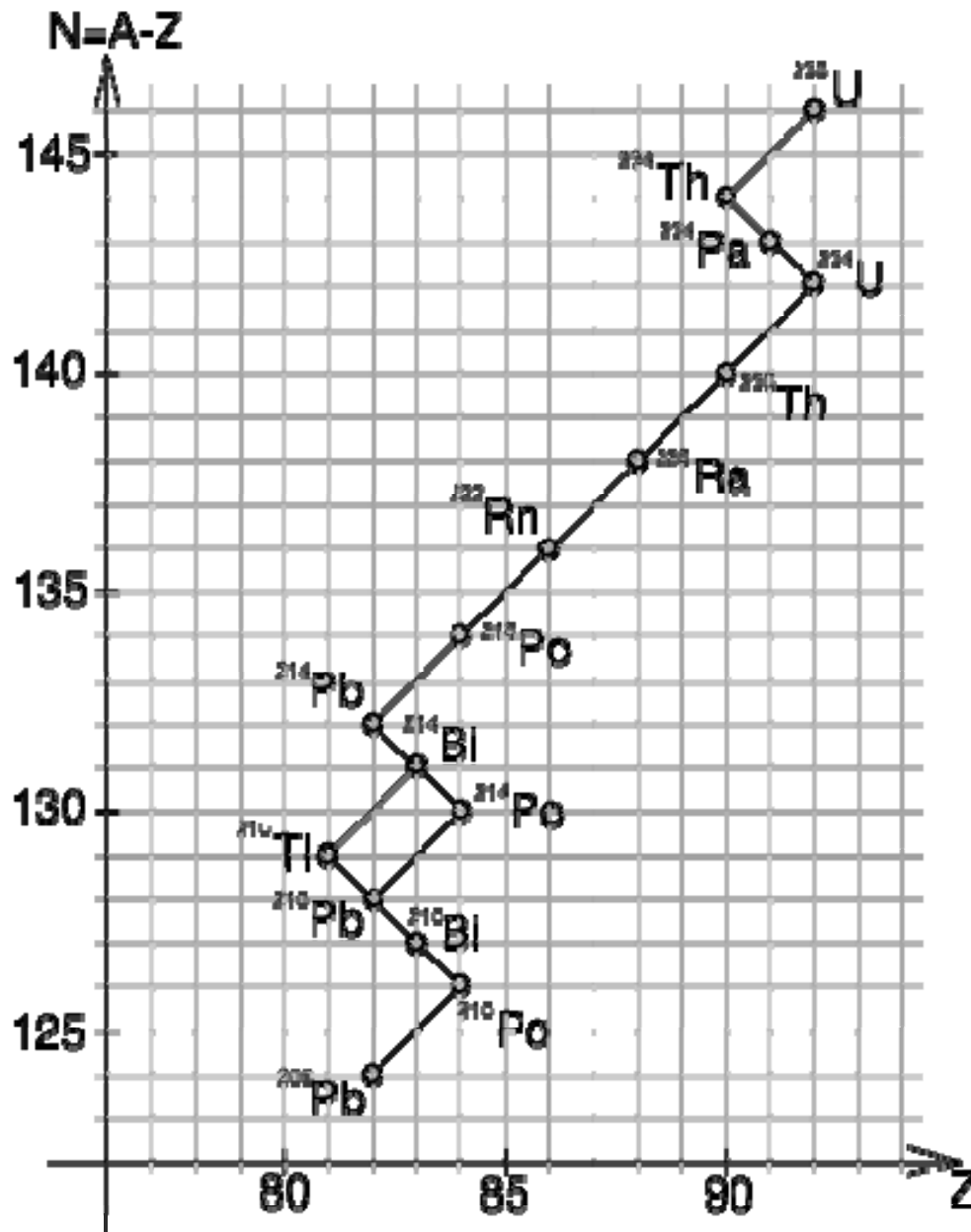
Quelle: Wikipedia, Oblique rays 04 Pengo DE.svg, created by user Pengo, modified M. Stöhr



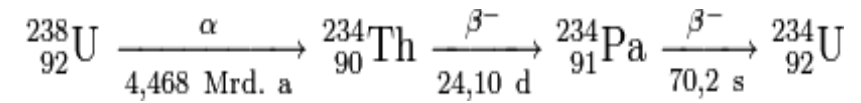
Steckbrief: Geothermie

- Quelle der Energie: Natürlicher radioaktiver Zerfall im Erdinnern
- Energieform: Wärme auf niedrigem oder mittlerem Temperaturniveau, je nach Bohrtiefe
- Gesamtleistung: 44 TW = 386.000 TWh/a
- 3 faches des weltweiten Energiebedarfs



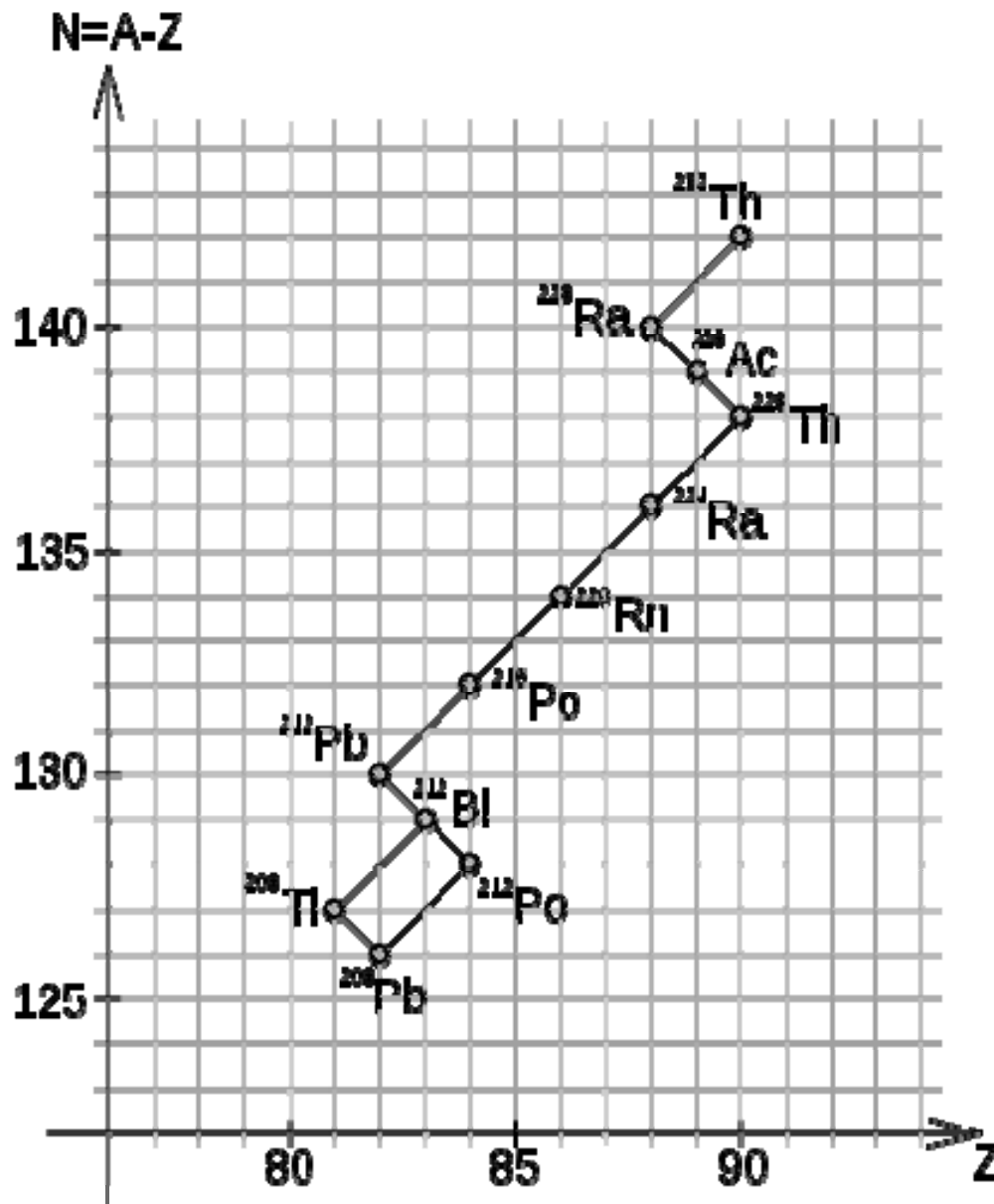


Uran-Radium-Reihe



Quelle: Wikipedia, Uranova rada.svg, by user Pajs





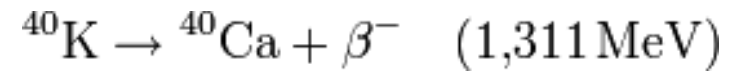
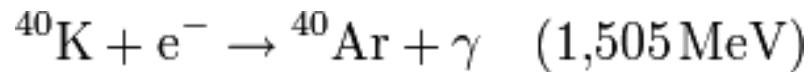
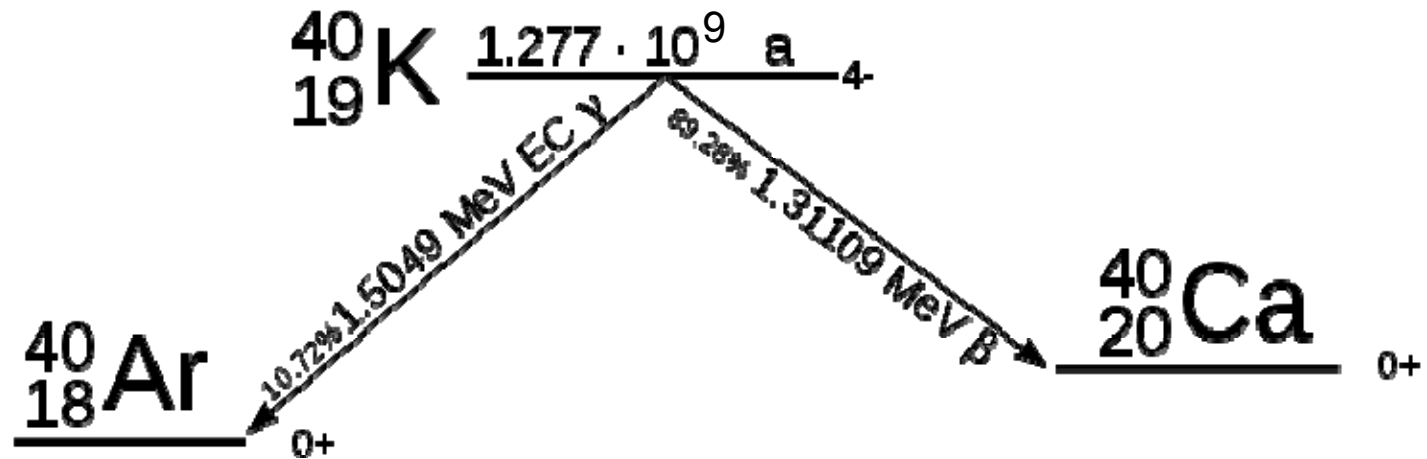
Thorium-Reihe

Halbwertszeit: $1,4 \cdot 10^{10}$ a

Quelle:
Wikipedia, Thoriova rada.svg, created by user Pajs



^{40}K -Zerfall



Quelle: Wikipedia, Potassium-40-decay-scheme.svg, by user Tubas-en



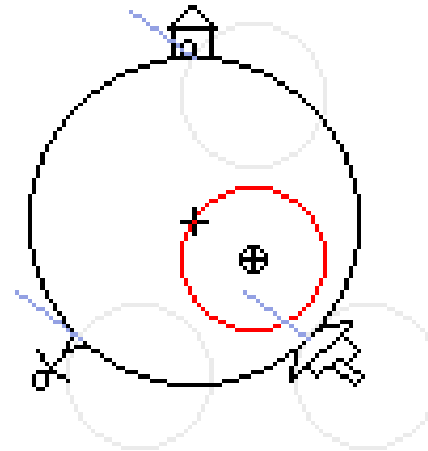
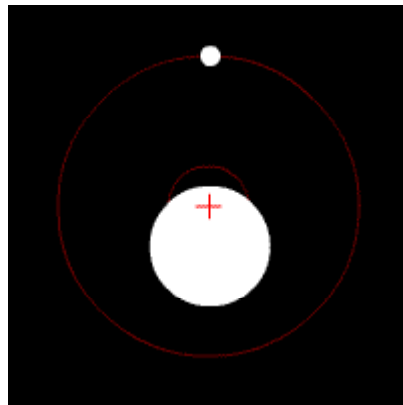
Steckbrief: Gezeitenkraft

- Quelle der Energie: Erdrotation, die sich dadurch verlangsamt. (Die ersten Landwirbeltiere hatten nur einen 22, die Dinosaurier einen 23 Stunden-Tag.)
- Energieform: Gezeiten(strömungs)kraft
- Sekundäre Energieformen: Niedertemperaturwärme (minimaler Teil des geothermischen Wärmestroms), ozeanische Strömungsenergie
- Gesamtleistung: 3,7 GW = 32.400 TWh/a
- davon 3,5 GW in den Ozeanen, 0,2 GW in den Gesteinen, 0,02 GW in der Atmosphäre
- 25% des weltweiten Energiebedarfs



Ursprung der Gezeitenkraft

Den ersten Flutberg erzeugt die Anziehung von Erde und Mond, den zweiten die Zentrifugalkraft



Quelle (links): Wikipedia: orbit3.gif, created by user Zhatt

Quelle (rechts): Drawn by F. Toussant as enhancement of wikimedia: RevolutionWithoutRotationB.gif. Initial version created by Lothar Schmid, published as wikimedia: Revolution_without_Rotation.gif.



Erneuerbarer Energien vs Weltenergiebedarf

	Gesamt- leistung (TW)	Leistung pro m2 Erdoberfläche (mW/m2)	Jahres- energieeintrag (TWh)	AKW Äquivalente	Vielfaches des weltweiten Energiebedarfs
Sonneneinstrahlung auf obere Atmosphäre	174.315	341.769	1.528.045.290	174.315.000	11.621
Sonneneinstrahlung auf Erdoberfläche	100.993	198.011	885.304.638	100.993.000	6.733
Geothermie gesamt	44	86	385.704	44.000	2,93
Gezeitenreibung gesamt	3,7	7,3	32.434	3.700	0,25
Summe Erneuerbarer Energien an Erdoberfläche	101.040	198.093	885.716.640	101.040.000	6.736
Weltweiter Energiebedarf	15	29	131.490	15.000	1

Quellen:

Encyclopedia of Energy, Elsevier Academic Press, San Diego, Oxford, 2004, ISBN 0-12-176480-X

- Earth Energy Balance
- Biomass for Renewable Energy and Fuels
- Ocean, Energy flows in
- Lithosphere, Energy flows in

Eigene Umrechnungen



Sekundäre Formen der Sonnenenergie

	Gesamt- leistung (TW)	Leistung pro m2 Erdober- fläche (mW/m ²)	Jahres- energie- eintrag (TWh)	AKW Äquivalente	Viel- faches des welt- weiten Energie- bedarfs	Prozent der Sonnen- ein- strahlung
Weltweiter Energiebedarf	15	29	131.490	15.000	1	0,01%
Sonneneinstrahlung auf Erdoberfläche	100.993	198.011	885.304.638	100.993.000	6.733	100%
Windenergiepotenzial	4.000	7.843	35.064.000	4.000.000	267	4%
Biomassebildung auf Landflächen	163	319	1.428.105	162.914	11	0,16%
Technisch nutzbares Wasserkraftpotenzial	2	3	14.218	1.622	0,1	0,002%

Quellen:

E. Hau, Windkraftanlagen, 2. Aufl. 1996, ISBN 3-540-57430-1

M. Kaltschmitt, H. Hartmann (Hrsg.), Energie aus Biomasse, 2001, ISBN 3-540-64853-4

Encyclopedia of Energy, Elsevier Academic Press, San Diego, Oxford, 2004, ISBN 0-12-176480-X

- Earth Energy Balance
- Hydropower Resources

Eigene Umrechnungen



Reichweite der Erneuerbaren Energien

1. Sonnenstrahlung: ca. 4,5 Mrd. Jahre
(in der Zwischenzeit verbrennt jedoch die Erde, wenn in der Sonne die Fusion von Helium zu Kohlenstoff einsetzt)
2. Geothermie: exponentielles Abklingen, 50%
Reduktion in den nächsten 4,5 Mrd. Jahren
3. Gezeitenkraft: langsames Abklingen über mehrere
100 Mio. bis einige Mrd. Jahre



Teil 2

NUTZBARE ENERGIEFORMEN



Formen nutzbarer Energie

- Elektrische Energie
- Niedertemperaturwärme (20-90°C)
- Prozesswärme (40-400°C)
- Hochtemperaturwärme (400-2.000°C)
- Kälte (-18°C – 20°C) !!!
- Mechanische Energie
- Chemische Energie



Teil 3

TECHNISCHE UMWANDLUNG ERNEUERBARER ENERGIE IN NUTZBARE FORMEN

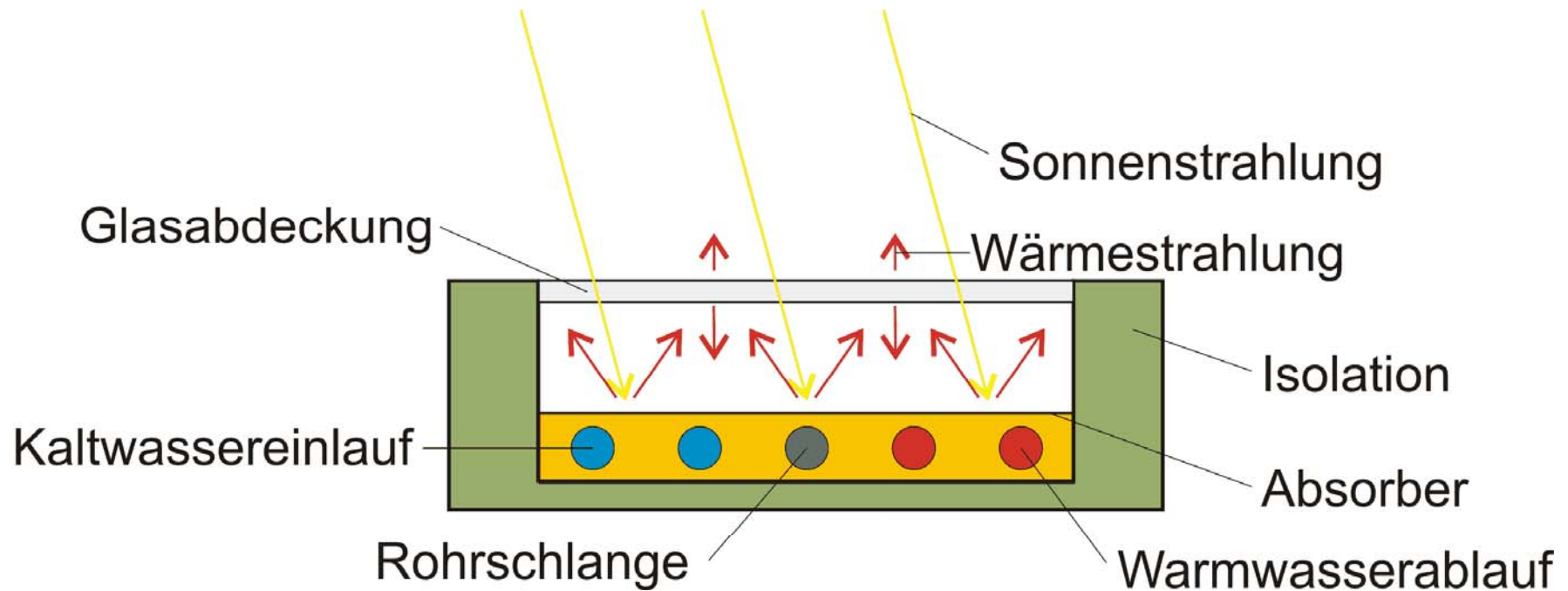


Technische Umwandlung des Sonnenlichts

1. Umwandlung des Sonnenlichts in Wärme:
Solarkollektoren, Trombewände, thermische Solarkraftwerke, jedes gewöhnliche Fenster!
2. Umwandlung des Sonnenlichts in elektrische Energie: Photovoltaik



Umwandlung von Sonnenlicht in Wärme



Quelle: Wikipedia, Sonnenlichtkollektor.png, created by user RobbyBer

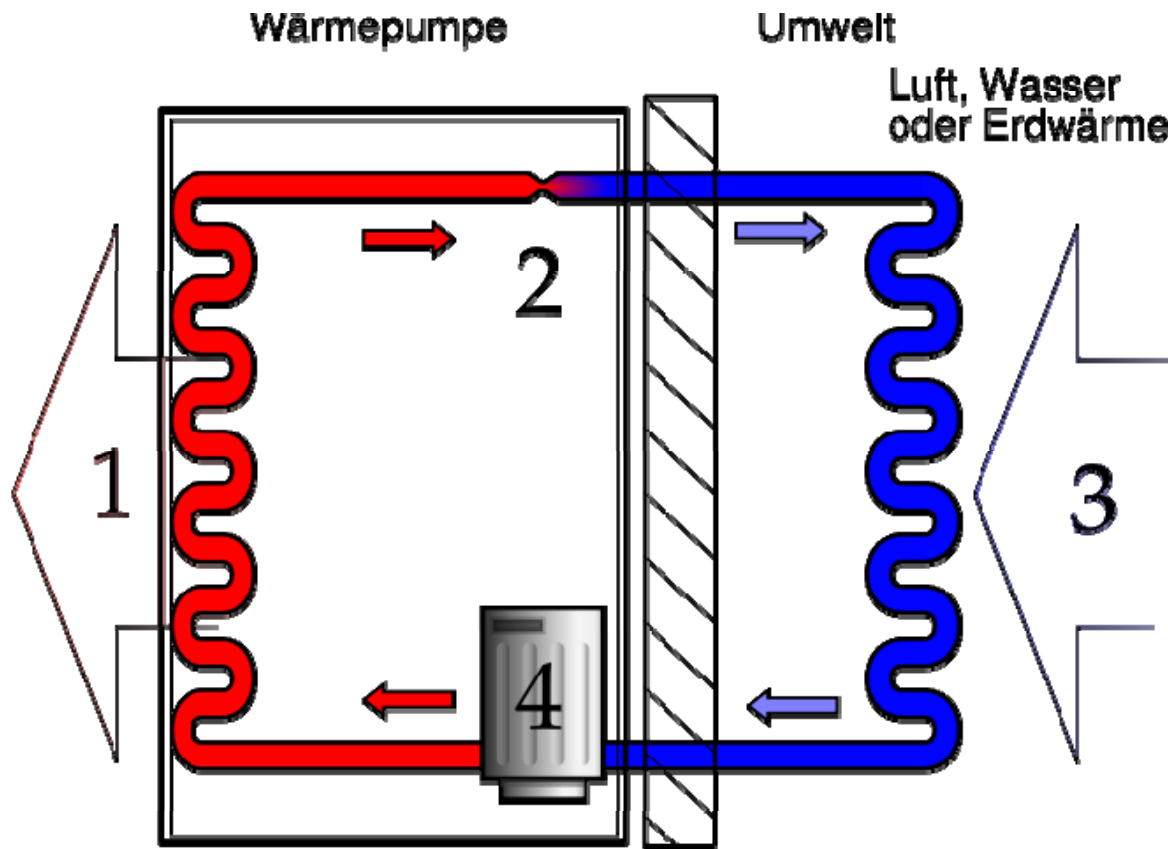


Technische Umwandlung von sekundärer Sonnenenergie

1. Nutzung von gespeicherter Sonnenwärme in den oberen 100m des Erdbodens: Wärmepumpen
2. Umwandlung der Windbewegung in mechanische Energie
3. Umwandlung der Wasserkraft, Wellen-, Strömungsenergie in mechanische Energie
4. Umwandlung von Biomasse (chemisch gespeicherter Energie) in Wärme



Wärmepumpen/ Kühlanlagen



1) Kondensator, 2) Drossel, 3) Verdampfer, 4) Kompressor.
Quelle: www.wikipedia.org

Grenzen der Umwandlung

- 1. Hauptsatz der Thermodynamik: Energie kann weder geschaffen, noch vernichtet, sie kann nur in andere Formen umgewandelt werden.
- 2. Hauptsatz der Thermodynamik: Wärme kann beliebig in Wärme niedrigerer Temperatur umgewandelt werden, aber immer nur teilweise in elektrische Energie, mechanische Energie oder Wärme auf einem höheren Temperaturniveau
- Nutzbarkeit der umgewandelten Energie!



Wirkungsgrade von technischen Umwandlungsmechanismen (I)

1. Quantenpunktsolarzellen: 40%
2. Geothermische Kraftwerke: $\eta_{\max} = (T_0 - T_{\text{Abwärme}}) / T_0$
z.B. $T_0 = 130^\circ\text{C}$, $T_{\text{Abwärme}} = 90^\circ\text{C}$
 $\eta_{\max} = (403 \text{ K} - 363 \text{ K}) / 363 \text{ K} = 11\%$
3. Wasserturbinen: 80-96%



Wirkungsgrade von technischen Umwandlungsmechanismen (II)

4. Wärmepumpen: $\text{COP}_{\text{max}} = T_{\text{hoch}} / (T_{\text{hoch}} - T_{\text{tief}})$

z.B. $T_{\text{hoch}} = 40^\circ\text{C}$, $T_{\text{tief}} = 10^\circ\text{C}$

$$\text{COP}_{\text{max}} = 283 \text{ K} / (313 \text{ K} - 283 \text{ K}) = 10,4$$

Bezug genommen wird auf die eingesetzte Antriebsenergie!

5. Windturbinen: max. Leistungsbeiwert $c_{p,\text{max}} = 59,3\%$



Optimierung der Nutzungsmöglichkeiten

1. Nutzung von Abwärme aus:

- Stromerzeugungsanlagen (KWK), Kühlprozessen, etc.

zum:

- (Vor)heizen, Trocknen, etc.

2. Nutzung von Wärme auf niedrigem Temperaturniveau durch Nachheizen:

- Temperaturerhöhung von geothermischer Wärme mittels Wärmepumpe (z.B. Bio-Geothermie-Kraftwerk Garching)
- Oder mittels Biomassekessel (z.B. Geothermie-Biogas-Kraftwerk Neuried)

