



Grundlagen zum Verständnis von Energie

„Crashkurs Energie“ für Multiplikatoren im Bereich Energiebildung

Vorbemerkung/ Hintergrund

In der breiten Bevölkerung ist das Grundverständnis für Energie oft nur rudimentär vorhanden. Selbst Energiefachleute verwechseln teilweise Leistung und Arbeit bzw. Energiemenge. Gerade den Schulen kommt hier ein wichtiger Bildungsauftrag zu. Das vorliegende Dokument ist auf Basis einer doppelstündigen Unterrichtseinheit in der 8. Klasse einer Mittelschule entstanden. Die thematisierten Grundlagen können aber auch in Realschulen, Gymnasien oder in der Erwachsenenbildung eingesetzt werden.

1. Woher kommt Energie?

Energie kann entweder durch Spaltung von Atomkernen (Kernkraftwerk, Atombombe, natürliche Zerfälle) oder durch die Fusion von Atomkernen zu einem einzigen Kern **entstehen** (In der Praxis ist v. a. die Verschmelzung von Wasserstoffatomen zu Helium relevant; Fusion findet in der Sonne, in der Wasserstoffbombe und evtl. in künftigen Fusionskraftwerken statt.). Dabei geht **Masse verloren** und es entsteht **Energie in Form von Strahlung und Wärme** (s. Einstein-Formel $E=m \cdot c^2$).

Die nachstehenden Ausführungen betreffen nicht diese Entstehung von Energie, sondern ausschließlich die 5 klassischen Formen von Energie auf der Erde. Kernspaltung und natürliche Zerfälle auf der Erde werden hier wegen des geringen Anteils vernachlässigt.

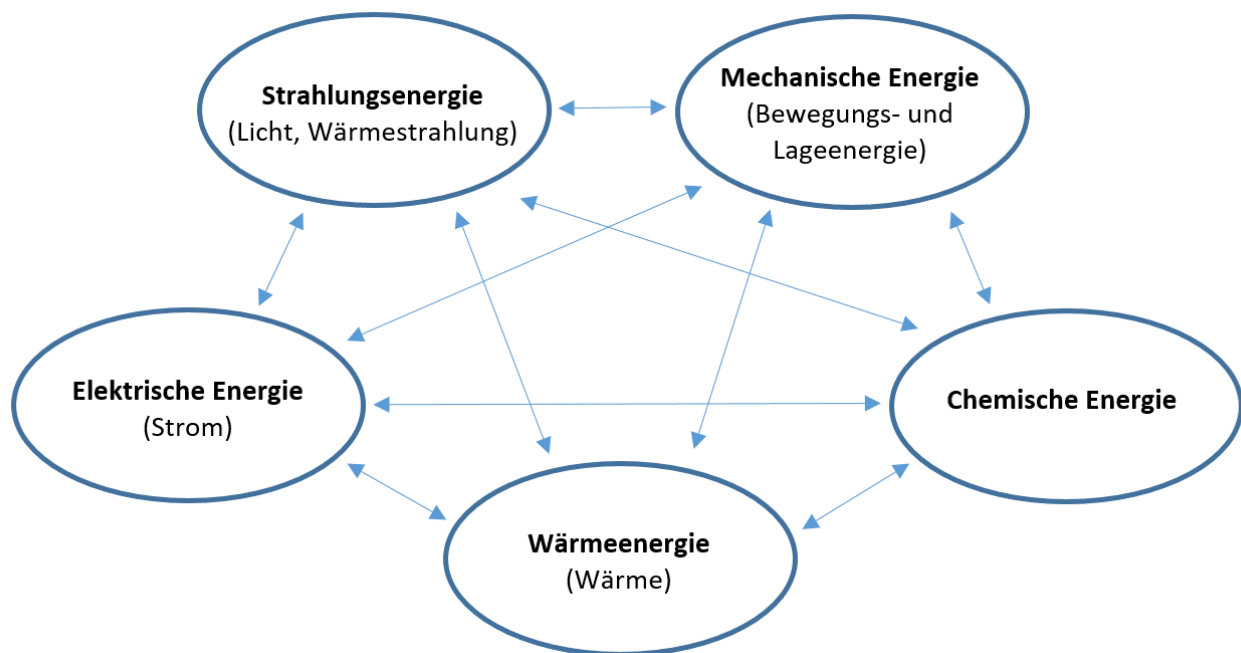
2. Die fünf klassischen Energieformen und der Energieerhaltungssatz

Die auf dem Planeten Erde natürlich vorkommende Energie ist praktisch vollständig **Strahlungsenergie** von der Sonne und verlässt die Erde in gleicher Menge wieder v. a. als **Wärmestrahlung** (Infrarotstrahlung), die in das All abgestrahlt wird. Dort geht sie nicht verloren, sondern strahlt mit Lichtgeschwindigkeit immer weiter!

Hintergrundwissen zur Ursache des Klimawandels: Die vom Erdboden abgestrahlte Wärmestrahlung wird durch Treibhausgase in der Atmosphäre zunehmend „abgefangen“ (absorbiert) und auf die Erde zurückgestrahlt. Dadurch wird tendenziell mehr Energie eingestrahlt als abgestrahlt und es kommt zu einer kontinuierlichen Zunahme von Wärmeenergie auf der Erde bzw. zur Steigerung der Durchschnittstemperatur (Erderwärmung)



Die fünf klassischen Energieformen auf der Erde sind in der folgenden Grafik dargestellt:



Hinweis für den Referenten/die Referentin: Anhand von mitgebrachten Gegenständen können diese Energieformen veranschaulicht werden (z. B. Kerze, Jojo, Gummiball, Taschenrechner mit Solarzelle, Steinschleuder, Batterie, Dynamo, Wärmekissen für die Hände, Kurbeltaschenlampe, Kurbelradio; siehe Seite 3).

Energie dieser fünf klassischen Formen **kann weder aus dem Nichts entstehen noch verschwinden**, sondern nur von einer Form in eine andere umgewandelt werden. **Dabei lässt sich grundsätzlich jede Form in jede andere umwandeln.**

Der Unterschied liegt im sogenannten **Wirkungsgrad**. So kann z. B. die hochwertigste Energieform Strom zu 100 % in die geringwertigste Form Wärme umgewandelt werden. Wärme kann im effizientesten Kraftwerk aber nur zu maximal ca. 60 % in Strom umgewandelt werden. Beispiel Umwandlung mechanische Energie in Strahlungsenergie: Schlägt man mit einem Hammer auf einen Zuckerkristall, entsteht ein Lichtblitz, dabei wird mechanische Energie zu weit weniger als einem Promille in Lichtenergie umgewandelt. Ähnlich exotisch ist eine „Lichtmühle“, in der Licht zu einem kleinen Teil direkt in (mechanische) Drehbewegung umgewandelt wird.

Die **Definition von Energie** lautet: „**Energie ist die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten**“. Streng physikalisch ist Arbeit nur die Umwandlung von elektrischer oder mechanischer Energie. Im Alltagsgebrauch wird „Arbeit“ aber auch für die Umwandlung oder den Transport anderer Energieformen verwendet, so dass man sich folgenden Merksatz einprägen kann:

Arbeit ist die Umwandlung einer Energieform in eine andere.

Daraus ergibt sich folgende weitere Erkenntnis:



Energie wird niemals „verbraucht“, sondern nur in eine andere Energieform umgewandelt.

In einem Motor wird chemische Energie (Treibstoff) in mechanische Energie (Drehbewegung) und Wärmeenergie umgewandelt. Energie und Arbeit haben daher dieselbe physikalische Einheit „Kilowattstunde“, abgekürzt „kWh“. Zur Abgrenzung: Von Arbeit spricht man bei einem Prozess oder einer Lieferung, also, wenn etwas geschieht. Energie dagegen kann ruhend gespeichert sein. Gespeicherte chemische, mechanische oder elektrische Energie bedeutet die Fähigkeit, zu einem späteren Zeitpunkt Arbeit leisten zu können.

***Exkurs für Personen mit Vorwissen oder Vertiefungswunsch:** Hochwertige Energie, die man mit einem hohen Wirkungsgrad in andere Energieformen umwandeln kann (Strom, mechanische Energie), nennt man **Exergie**. Energieformen, die man nicht in andere umwandeln kann, v. a. Wärme und Wärmestrahlung auf niedrigem Temperaturniveau, nennt man **Anergie**.*

Physikalisch korrekt „verbrauchen“ wir also keine Energie, sondern wir verbrauchen Exergie und wandeln diese in geringwertige Anergie um. Streng genommen kann daher nur Exergie Arbeit leisten. Weitere Erläuterungen dazu im Internet unter www.energielexikon.info/arbeit.html

Zur praktischen Veranschaulichung empfiehlt es sich, die Zuhörer/innen bei den Gegenständen und Abläufen abzuholen, die sie aus ihrem Alltag kennen. Beispiele sind:

- Kerze, Taschenlampe mit Batterie: Umwandlung chemischer Energie in Licht und Wärme
- Jojo, Gummiball: Abwechselnde Umwandlung von Lageenergie in Bewegungsenergie und schließlich in Wärme aufgrund der Reibung mit der Luft und am Boden
- Steinschleuder: Umwandlung chemischer Energie im Muskel des Schleuderers in mechanische Bewegungsenergie (+ schließlich in Wärme beim Auftreffen des Geschoßes)
- Taschenrechner mit Solarzelle: Umwandlung von Licht in Strom und Wärme

Weitere Beispiele für Energieumwandlungen:

- Windenergieanlage: Die Strahlungsenergie der Sonne erzeugt warme Luft auf der Erde. Diese führt zur Bewegungsenergie des Windes. Der Wind versetzt den Rotor der Windenergieanlage in eine Drehbewegung, die im Generator in Strom umgewandelt wird.
- Blitz: Umwandlung von elektrischer Energie (in der Gewitterwolke, die elektrisch geladen ist, weil Wasserteilchen aneinander reiben) in Wärme (glühende Luft im Blitzkanal), die z.T. als Licht sichtbar wird.
- Glühender Stahl/Glutbett im Grill: Umwandlung von Wärme in Strahlungsenergie (rotes oder weißes Licht, Infrarotstrahlung), die beim Auftreffen der Strahlung z. B. auf einem Festkörper wieder zu Wärme wird.
- Elektromotor, z. B. im Rasierapparat: Umwandlung von Strom in Bewegungsenergie und Wärme
- Aufladen eines Akkus im Ladegerät: Umwandlung elektrischer Energie in chemische Energie und Wärme



Hilfreich ist auch, wenn man verstanden hat, was **Wärmeenergie** ist. Bildlich dargestellt ist es die Schwingung oder Geschwindigkeit von Teilchen (Atome, Moleküle in Feststoffen, Flüssigkeit und Gasen). Je stärker sie schwingen oder schneller sie sich bewegen, umso mehr Wärme ist vorhanden und umso höher ist ihre Temperatur. Daher gibt es zwar eine tiefste Temperatur von -273°C ($= 0$ Kelvin), bei der alles stillsteht, aber praktisch keine höchste Temperatur (mehrere Millionen Grad in der Sonne, noch viel mehr in schwarzen Löchern).

Wenn Wärmeenergie geleitet wird, z. B. durch die Herdplatte und den Topfboden in das Kochgut, dann werden bildlich gesprochen die starken Stöße (heiße Herdplatte) hin zu den Bereichen mit geringer Bewegung (kalte Lebensmittel im Kochtopf) geleitet. Daraus ergibt sich folgender Merksatz:

Wärme strömt von selbst immer vom Warmen zum Kalten, nie umgekehrt.

So strömt die Raumwärme von selbst in den kalten Kühlschrank hinein oder im Winter durch die Hauswände ins Freie hinaus, nie aber umgekehrt. Daher spricht man von „Wärmebrücke“ und nicht von „Kältebrücke“, wenn ein (ungedämmtes) Bauteil Wärme an die Umgebung abgibt. In umgekehrter Richtung braucht man dann eine Wärmepumpe. Dieses Verständnis von Wärme hilft zu verstehen, warum auch aus einem unbeheizten Schlafzimmer durch ein gekipptes Fenster viel Wärme nach draußen strömt.

Nebenbei: Kälte im physikalischen Sinn gibt es nicht, gemeint ist damit umgangssprachlich nur die Abwesenheit von Wärme. Ebenso wie Dunkelheit nur die Abwesenheit von Licht ist.

3. Unterscheidung Arbeit und Leistung

Die Einheiten „Kilowatt“ (kW) und „Kilowattstunde“ (kWh) werden regelmäßig verwechselt, was bei Energiediskussionen oft zu Missverständnissen führt. Beispielsweise ist es ein entscheidender Unterschied, ob ein Elektroauto 50 kWh oder 50 kW hat. Im ersten Fall ist es die **Energiemenge** (= Kapazität) der Batterie, im zweiten Fall die **Motorleistung** (bzw. Be-/ Entladeleistung der Batterie).

Arbeit = Energiemenge, angegeben in kWh = Kilowattstunden

Leistung = Arbeit pro Zeit, angegeben in kW = Kilowatt

Die Leistung, angegeben in kW, drückt die Intensität der Umwandlung oder Weiterleitung von Energie aus. Beispiel: Ein Wasserkocher oder ein Haarfön können z. B. eine Leistung von 2 Kilowatt haben. Wenn diese Geräte eine Stunde lang Strom mit 2 kW Leistung verwenden, dann wird folgende Energiemenge von Strom in Wärme umgewandelt: $2 \text{ kW} \cdot 1 \text{ h} = 2 \text{ kWh}$.



Exkurs zum weiteren Verständnis:

Leistung ist die Arbeit, die in einer bestimmten Zeit verrichtet wird, d. h. wieviel kWh pro Stunde (h) umgesetzt werden, also $\frac{\text{kWh}}{\text{h}}$. Da sich das „h“ oben und unten wegekürzt, ergibt sich für die Leistung die Einheit kW.

Anschauliche Anekdote: „Als Schüler sich bei einer Physikprüfung beschwerten, dass die Zeit nicht ausreiche, hat der Lehrer das so erklärt: Benotet wird nicht die Arbeit, sondern die Leistung. Hätte man einen ganzen Tag Zeit, würde vielleicht auch der schlechteste Schüler alle Aufgaben lösen und die Arbeit vollständig erbringen. Die besten Noten bekommen aber die Schüler, die die meisten Aufgaben in der vorgegebenen knappen Zeit lösen und damit die höchste Leistung erbringen.“

Praxisbeispiel: Ein Blitz kann eine unvorstellbare Leistung von 40.000 GW (100 Mio. Volt, 400.000 Ampere) aufweisen, das entspräche ca. 30.000 bis 40.000 (!) Kernkraftwerken. Allerdings dauert er nur 25 Millionstel Sekunden. Multipliziert man das, ergibt sich nur eine Energiemenge von ca. 250 kWh, von denen nur ca. 15 kWh am Boden ankommen. Trotz der enormen Leistung würde es sich also nicht lohnen, Blitze einzufangen, da die Energiemenge sehr gering ist.

4. Das Verständnis für Größenordnungen von Energiemengen

Gerade die Vorsilben „Kilo“, „Mega“, „Giga“ und „Tera“ machen es dem Laien und auch manchen Fachleuten schwer, ein Gefühl für Größenordnungen zu behalten.

Umrechnung der verschiedenen Einheiten:

1 Terawattstunde (TWh)	=	1.000.000.000 kWh	=	1 Milliarde. kWh
1 Gigawattstunde (GWh)	=	1.000.000 kWh	=	1 Million kWh
1 Megawattstunde (MWh)	=	1.000 kWh	=	1 Tausend kWh

Ein Batteriespeicher mit 4 MWh (Megawattstunden) Kapazität klingt für den Laien nicht viel anders als ein Pumpspeicherkraftwerk – z. B. am Standort Riedl – mit 3,5 GWh (Gigawattstunden) Kapazität oder die 6 TWh (Terawattstunden) Strom, die ein großer Chemiekonzern im Jahr verbraucht. Umgerechnet in die Einheit Kilowattstunden ergeben sich folgende Energiemengen: 4.000 kWh Batteriespeicher, 3,5 Mio. kWh im Pumpspeicherkraftwerk und 6 Mrd. kWh Stromverbrauch des Chemiebetriebs.

Erfahrungsgemäß ist es verständlicher, nicht von MWh, GWh, TWh (bzw. bei Leistung MW, GW, TW) zu sprechen, sondern von tausend kWh (= MWh), Million(en) kWh (= GWh) oder Milliarde(n) kWh (= TWh).

Ebenso fehlt oft das Gefühl dafür, wieviel Energie für welche Anwendung gebraucht wird. Der Energiebedarf von Handys oder von mechanischen Anwendungen wird regelmäßig überschätzt, während der Bedarf zur Wärmebereitung unterschätzt wird.

Jeder Bürger/ jede Bürgerin in Deutschland benötigt rund um die Uhr im Durchschnitt ca. 5.000 Watt (5 kW) Energie (= durchschnittliche Leistung aller direkten und indirekten Anwendungen). Ein Mensch, der auf einem Energie-Fahrrad (Ergometer) sitzt und tritt, schafft auf die Dauer nicht mehr als 100 Watt (0,1 kW) Leistung.



Wollte man die Energie, die jeder von uns ständig (ver-)braucht, mit Leistungssportlern auf Treträdern erzeugen, müssten für jede und jeden von uns **50 (!) Menschen** rund um die Uhr treten. Daher ist die Vorstellung absurd, jemand könne durch Treten eines Energie-Fahrrades seinen Energiebedarf decken. Mit diesem Hintergrundwissen wird klar, welch immense Energiemengen unseren gewohnten Lebensstil ermöglichen.



Autobatterie zur Veranschaulichung einer Energiemenge von 1 kWh
(Quelle: Nischaporn – stock.adobe.com)

Zur Veranschaulichung und um ein Gefühl für die Größenordnungen von Energiemengen zu bekommen, kann zu Beginn der Unterrichtseinheit eine große Autobatterie (Bleibatterie) für alle sichtbar aufgestellt werden. Sie hat eine Kapazität von 1 kWh Strom (Ergänzend ggf. eine Literflasche Speiseöl für 10 kWh chemische Energie).

Auf diese Energiemenge kann man dann immer wieder zurückkommen und bei vielen Einzelpunkten Bezug nehmen und Vergleiche anstellen. Eine bildliche Vorstellung zu haben, wieviel 1 kWh Energie ist, ist eine große Hilfe zum Verständnis von Größenordnungen.

- Für das Hochheben eines Eimers Wasser (ca. 12 kg) von Meereshöhe auf den Mount Everest braucht man 0,25 kWh Energie.
- Zum Warmduschen braucht man pro Minute 0,25 kWh (Wassersparbrause) bis 0,50 kWh (Normalbrause) Energie – das entspricht dem viertel bzw. halben Energiegehalt einer Autobatterie.
- Eine Akkuladung für das Smartphone braucht z. B. 0,01 kWh Strom, das sind bei täglichem Laden ca. 3,5 kWh im Jahr. Für den jährlichen Energieverbrauch des Smartphones könnte man also 7,5 bis 15 Minuten duschen.
- Zum Betrieb eines Haarföns über eine Stunde wird 1 kWh Strom benötigt, das ist die Energiemenge in einer Autobatterie.
- Wenn ein Einfamilienhaus in Deutschland im Jahr ca. 35.000 kWh Energie „verbraucht“, dann könnte man damit ein Smartphone 10.000 Jahre lang jeden Tag laden.
- Müsste man die jährlichen 35.000 kWh eines Einfamilienhauses (Heizung und Strom) durch Treten mit einem Energiefahrrad aufbringen, müsste ein Leistungssportler auf einem Energiefahrrad 350.000 Stunden treten, das sind 40 Jahre rund um die Uhr oder 80 Jahre halbtags (12 Stunden).



- Eine kWh Strom aus der Steckdose kostet ca. 40 ct. Kauft man den Strom in einer Blechdose (AA-Batterie für 30 bis 40 ct mit 3 bis 4 Wh Energiegehalt), kostet eine kWh umgerechnet 100 bis 130 €, in Knopfzellen sogar über 2.000 €.

Bezugspunkte für Leistungseinheiten (Watt, kW, MW, GW) können sein:

1 Watt:	Energiebedarf eines Mobiltelefons beim Telefonieren
10 Watt:	Energiebedarf einer sparsamen LED-Lampe oder eines Tablets
100 Watt:	Energiebedarf eines mittleren Fernsehers
1.000 Watt (1 kW):	Energiebedarf kleiner Fön, kleiner Wasserkocher
10 kW:	Installierte Leistung mittlere Dach-PV-Anlage
100 kW:	Größenordnung Leistung Automotor
1.000 kW (1 MW):	Leistung kleine Windkraftanlage
10 MW:	Leistung große Offshore-Windkraftanlage
100 MW:	Leistung mittelgroßes Wasserkraftwerk, Erdgaskraftwerk oder kleines Kohlekraftwerk
1.000 MW (1 GW):	Leistung Kernkraftwerksblock

5. Quizfragen

Die Aufmerksamkeit der Zuhörenden kann gesteigert werden, wenn man bereits zu Beginn der Lerneinheit Quizfragen mit einer Auswahl von Antworten vorn anschreibt und attraktive Preise für die ankündigt, die alle Fragen richtig beantworten.

Quizfrage zum Thema Energieerhaltungssatz:

- Wenn man in einem geschlossenen und wärmeisolierten Raum die Tür eines laufenden Kühlschranks offen lässt, was passiert im Laufe der Zeit mit der Temperatur im Raum?

A: Es wird kälter im Raum, weil der offene Kühlschrank Kälte abgibt.
B: Die Temperatur bleibt gleich, weil der Kühlschrank hinten genauso viel Wärme abgibt, wie vorn hineingeht
C: Es wird wärmer im Raum (Richtig ist C: Der Kühlschrank pumpt hinten die Wärme hinaus, die vorn durch die offene Tür hineingeht. Hinzu kommt die Wärme, die aus dem Stromverbrauch des Kühlschranks resultiert. Der Kühlschrank gibt also insgesamt Wärme an den Raum ab, die Temperatur im Raum steigt.)

Quizfragen zum Thema Größenordnungen:

- Wie lang müsste man auf dem Energiefahrrad treten, um die Energie zu erzeugen, die man für 10 Minuten (Wassersparbrause) bzw. 5 Minuten (Normalbrause) warm duschen braucht (gemütlicher Fahrer 50 Watt, ambitionierter 100 W)?

A: 25 bis 50 Minuten
B: 25 bis 50 Stunden (Richtig ist B: 25 Stunden á 100 Watt = 2,5 kWh Verbrauch pro 5 bzw. 10 min duschen)
C: 25 bis 50 Tage



- Wie lang müsste man auf dem Energiefahrrad treten, um die ausgestellte Autobatterie (1 kWh) mit dem erzeugten Strom zu laden?

A: 10 bis 20 Minuten
B: 1 bis 2 Stunden
C: 10 bis 20 Stunden (Richtig ist C: 10 bis 20 Stunden á 50 bis 100 Watt = 1 kWh)

- Wie lang könnte man mit der Energie warm duschen, die einer Autobatterie (1 kWh) enthalten ist?

A: 2 bis 4 Minuten (richtig ist A: 2 bis 4 Minuten)
B: 15 Minuten
C: 60 Minuten

6. Diskussion und Nachfragen

Wenn das Interesse der Zuhörer geweckt ist, können viele Nachfragen und Diskussionen resultieren. Ein Schüler der 8. Klasse fragte beispielsweise, ob man mit Energie auch Menschen töten könne. Nachdem die Frage ernst genommen und dahingehend präzisiert war, welche Energieformen wie gefährlich oder tödlich sein können, entspann sich (ausgehend von den fünf klassischen Energieformen) eine gemeinsame Suche nach Beispielen, bei der sich auch diejenigen angeregt beteiligten, die vorher wenig Interesse hatten oder eher als Störer aufgefallen waren.

- Elektrische Energie: Stromschlag, Blitz
- Mechanische Energie: Steinschlag, Pistolenkugel, Fallbeil
- Thermische Energie: Scheiterhaufen, Verbrühen
- Chemische Energie: Explosion (ggf. mit mechanischer Energie durch Druckwelle)
- Strahlungsenergie: Radioaktive Strahlung, Laserkanone

Ein abschließender Wissens-Check zeigte, dass sich die Schüler besonders die plakativen Beispiele gut eingeprägt hatten, z. B. dass 50 Sportler dauerhaft auf Energie-Fahrrädern radeln müssten, um den laufenden Energiebedarf eines einzigen Deutschen zu decken.

7. Weiterführende Links:

Energie-Lexikon: www.energie-lexikon.info

Energy Slam Gewinner: „Energie – Wie verschwendet man etwas, das nicht weniger werden kann?“

<https://www.youtube.com/watch?v=CX2DPF6ofPc> :

Stand: 31.07.2023

Bearbeitung: Bayerisches Landesamt für Umwelt – Ökoenergie-Institut Bayern, Autor Dr. Josef Hochhuber - StMWi