

ENERGIE VADEMECUM

Was jemand wissen muss, um darüber sprechen zu können.

DEFINITIONEN

PRINZIPIEN

KONSEQUENZEN

Den Unterschied kennen zwischen :

- Leistung [kW] und Energie [kWh],
- zu erntende Primärenergie und sekundär produzierte Vektoren.

Einhaltung der Grundsätze der Thermodynamik:
Gleichgewicht, Erhaltung, Unordnung (Entropie), absoluter Nullpunkt.

Die Ernte von Primärenergie muss mehr Energie erzeugen,
als sie kostet! $ERoEI \gg 1$

Der Nutzungsfaktor beschreibt die durchschnittliche Auslastung einer Anlage.

Um sie zu speichern, muss Elektrizität umgewandelt werden.

Der Auslastungsfaktor einer von einer ersten Anlage
abhängigen Anlage kann nur niedriger sein.

Nichts ist exponentiell, alles ist endlich.

Die Effizienz eines jeden Prozesses liegt nie bei 100 %.

In welchem System auch immer und zu welchem Anteil auch immer
die sogenannten erneuerbaren Energien

- können die Nachfrage nicht jederzeit befriedigen,
- reduzieren die Effizienz der Stromerzeugung,
- erhöhen die Kosten,
- vervielfachen den Kapitalbedarf,
- destabilisieren das Netz,
- verursachen einen grösseren Umweltabdruck.

**Fakten sind
hartnäckig!**

Ausser dem Leben ist nichts erneuerbar.

Der Fortschritt führt in die Richtung,
die Ressourcen besser zu nutzen und nicht
zu verdünnen, zu zerstreuen und zu verschwenden.

Die Energieversorgung muss die Nachfrage befriedigen
und nicht umgekehrt..

Recycling verbraucht, hat sinkende
Erträge und daher Grenzen.

Jede wirtschaftliche oder umweltbezogene
Bewertung muss zwischen vergleichbaren Systemen
erfolgen, die die gleiche Dienstleistung erbringen.

Abwägungen sind erforderlich,
basierend auf Vernunft, und ohne Unvernunft.

Die Produktion von Kohle- und Gaskraftwerken in
Deutschland ist ein Deckmäntelchen für
"erneuerbare Energien", deren Geburtsfehler
verschämt verschwiegen werden sollen

Kein Land ist reich genug, um sich ein
"Was auch immer es kostet" leisten zu können.

Keine Veränderungen ohne Energie

Hohes Potenzial

Kinetik

Tiefes Potenzial

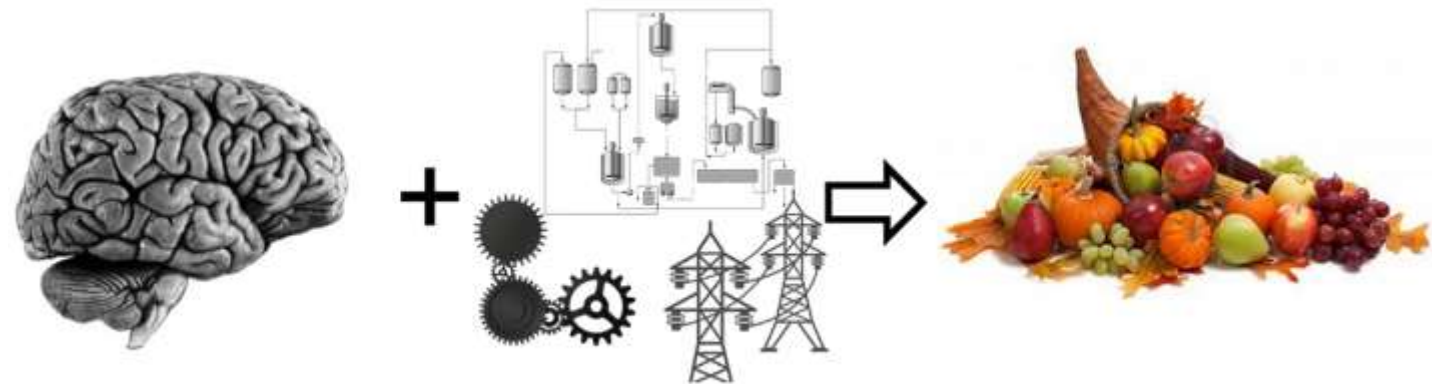


Kein Wohlstand ohne Energie

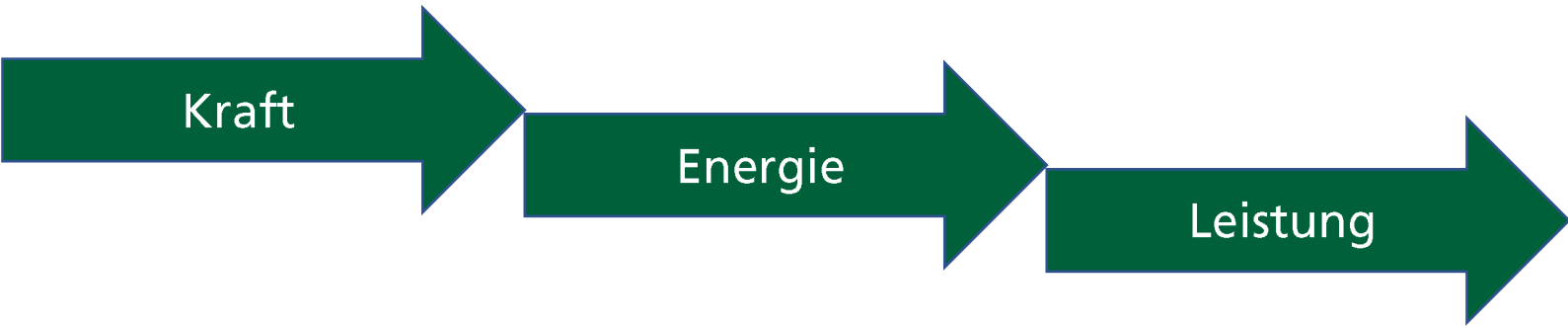
VORHER



JETZT



Fähigkeit zu handeln ?



N newton
X Distanz
J joule
÷ Zeit
W watt

Fähigkeit, eine physische, intellektuelle oder moralische Handlung auszuüben oder zu ertragen.

Wird in einem Feld ausgeübt, z.B. einem Gravitations- oder Potentialfeld.

Kraft = Masse × Beschleunigung

$$1 N = 1 kg \times 1 \frac{m}{s^2} = 1 \frac{kg \cdot m}{s^2}$$

Handelnde Kraft, physisch oder moralisch.

Fähigkeit eines Körpers oder eines Systems, eine Arbeit zu verrichten, d.h. eine Änderung des Zustands zu bewirken, z.B. die Bewegung eines Objekts in einem Gravitationsfeld. (Kraft - Entfernung).

$$1 J = 1 N \cdot m$$

$$1 kWh = 1000 W \times 3600 s = 3\,600\,000 J$$

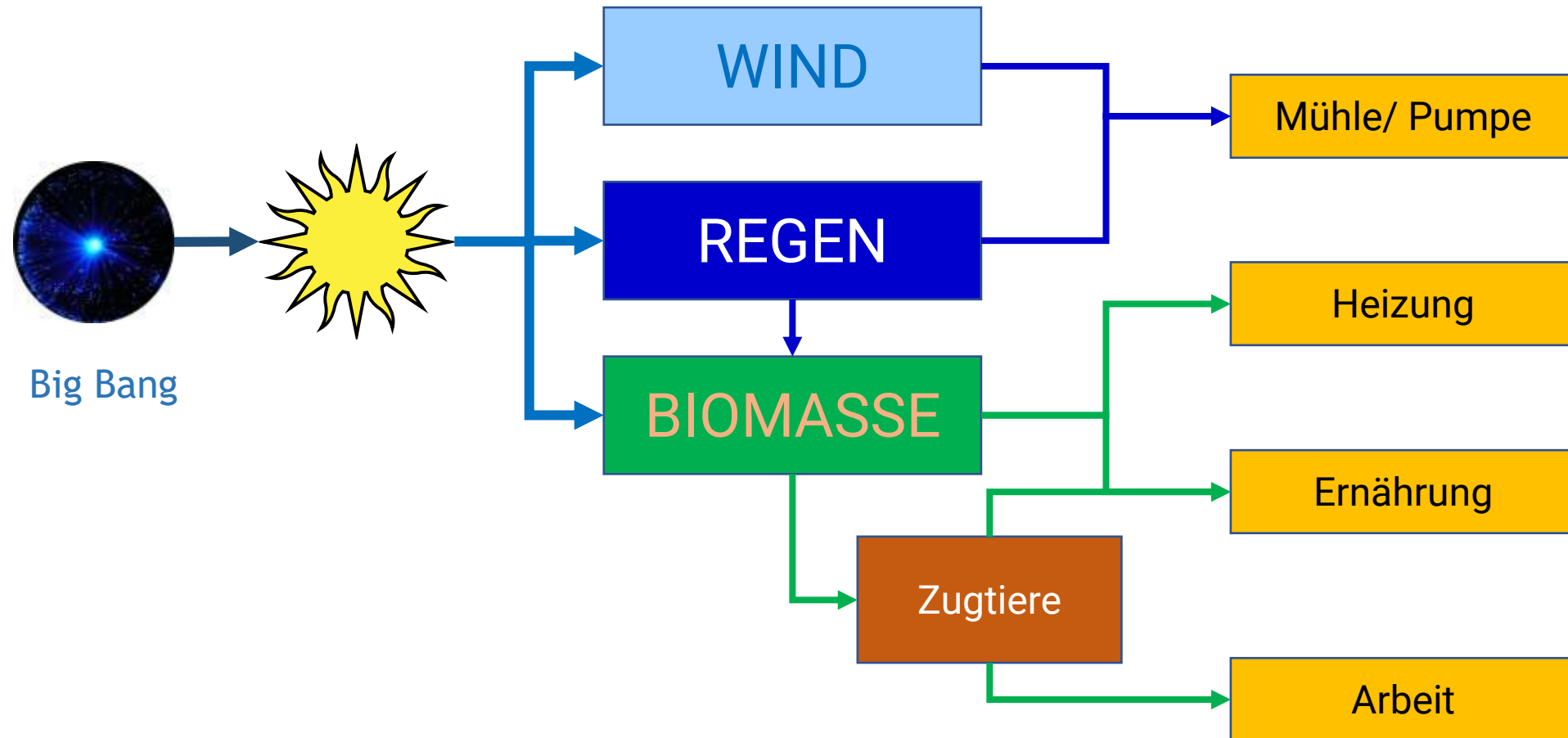
Macht, welche ein Wesen, eine Gruppe, eine Entität besitzt, seine Autorität, seine Herrschaft gegenüber einem anderen durchzusetzen.

Menge an geleisteter Arbeit oder Energie, die von einem System freigesetzt oder von einem System innerhalb einer Zeiteinheit zu einem anderen transferiert wird.

$$1 W = 1 \frac{J}{s}$$

$$1 CV = \frac{75 kg \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times 1 m}{1 s} = 736 W$$

Herkunft



Big Bang

WIND

REGEN

BIOMASSE

Zugtiere

Mühle/ Pumpe

Heizung

Ernährung

Arbeit

Welche Energie?

- **Potenzielle Energie:** Die Energie, die ein Körper aufgrund seiner Position besitzt.
(relativ zu einem Bezugspunkt)
Solange der Apfel noch nicht vom Baum gefallen war, besass er potenzielle Energie.
- **Kinetische Energie:** Die Energie, die ein Körper aufgrund seiner Bewegung besitzt.
Als der Apfel den Schädel von Isaac Newton erreichte, setzte er kinetische Energie frei.
- Primärenergie:** Die natürliche Form von Energie, die an einem bestimmten Ort und zu einer bestimmten Zeit verfügbar ist.
Beispiele : *Sonneneinstrahlung (und ihre Derivate Wind und Regen), geothermischer Fluss, Kohle-, Öl- oder Gasvorkommen, Uranbergwerk, Biomasse.*
- **Sekundärenergie:** Eine Form von Energie, die aus einer Primärenergie oder einer anderen Sekundärenergie umgewandelt wurde. Energieträger.
Beispiele : *Elektrizität, raffinierte Kraftstoffe, hochgepumpte Wassermassen, elektrochemische Energie in einer Batterie, Wasserstoff oder andere synthetische Kraftstoffe..*

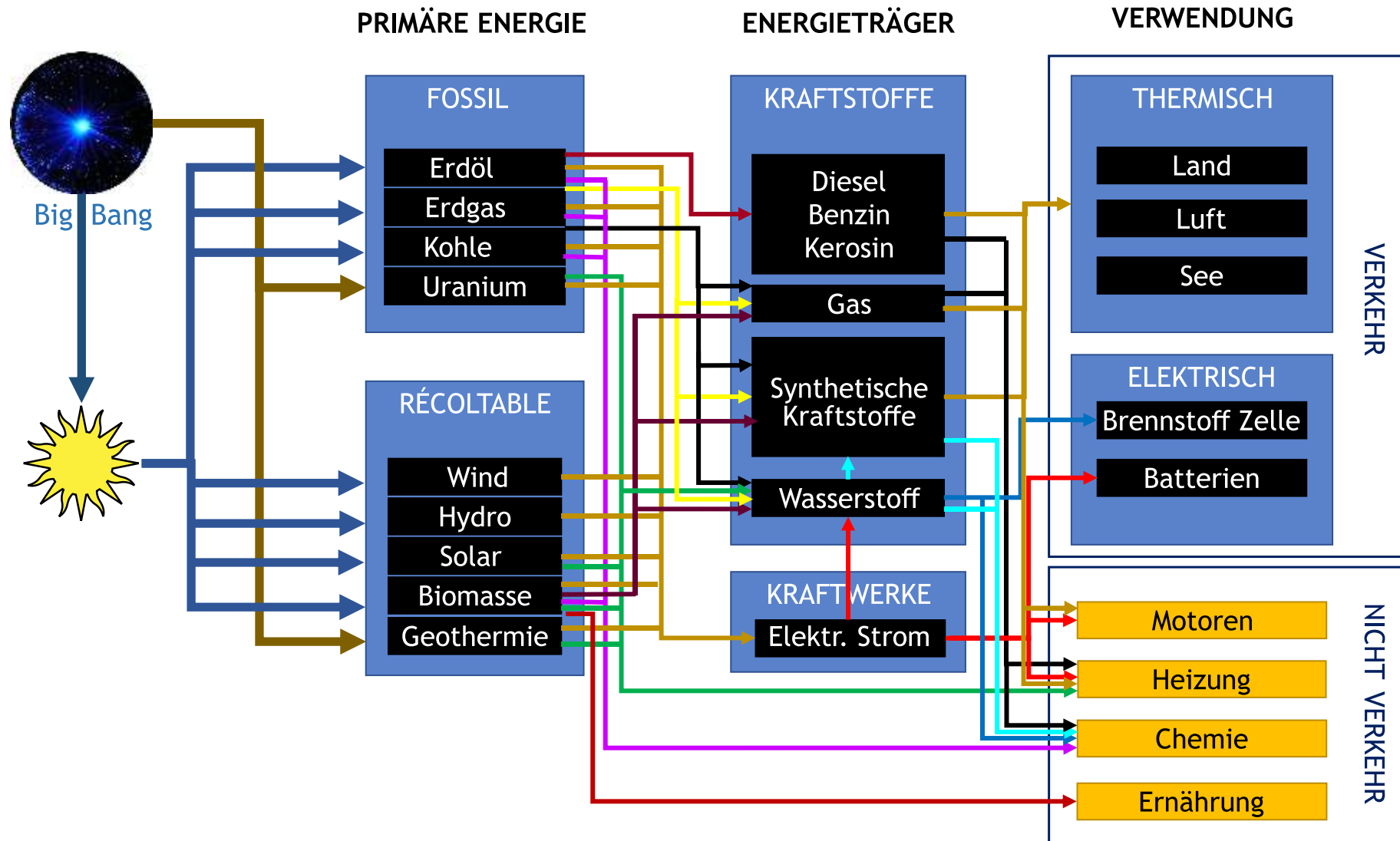
Energie Management

- **Fatale Energie:** Primärenergie, deren Verfügbarkeit nicht von menschlichem Handeln abhängt.
Beispiele : *Sonneneinstrahlung, Wind, Niederschlag, Geothermie, Biomasse.*
- **Intermittierende Energie:** Primärenergie, deren Verfügbarkeit nicht kontrollierbar ist.
Die Vorhersehbarkeit ist nur teilweise gegeben und die einzige Möglichkeit der Steuerung besteht darin, auf die Ernte teilweise oder vollständig zu verzichten.
Beispiele : *PV, Wind, Laufwasser, die auch nicht gespeichert werden können.*
- **Steuerbare Energie:** Primär- oder Sekundärenergie, deren Verfügbarkeit nach Wunsch moduliert werden kann.
Beispiele : *Elektrizität aus*
 - *Wärme Kraftwerke, die mit Gas, Öl, Kohle oder Biomasse betrieben werden,*
 - *Speicherwasserkraftwerke (bei ausreichenden Reserven),*
 - *Kernkraftwerke (nur in begrenztem Umfang),*
 - *Geothermische Kraftwerke und Wärmepumpen..*

Elektrizität, die Primärenergie erfordert



Energiequellen, -träger und -nutzung

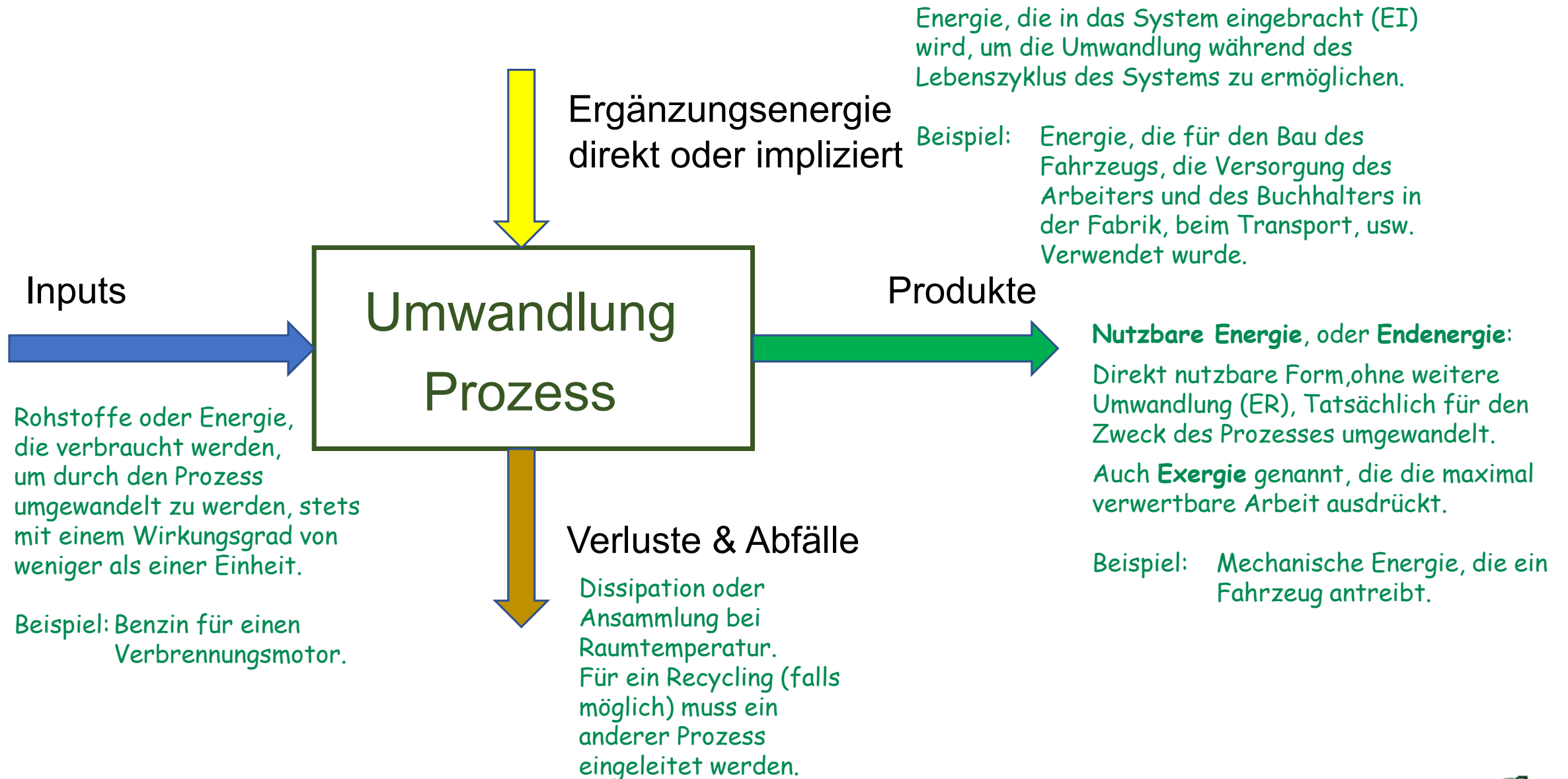


Thermik – Wärme

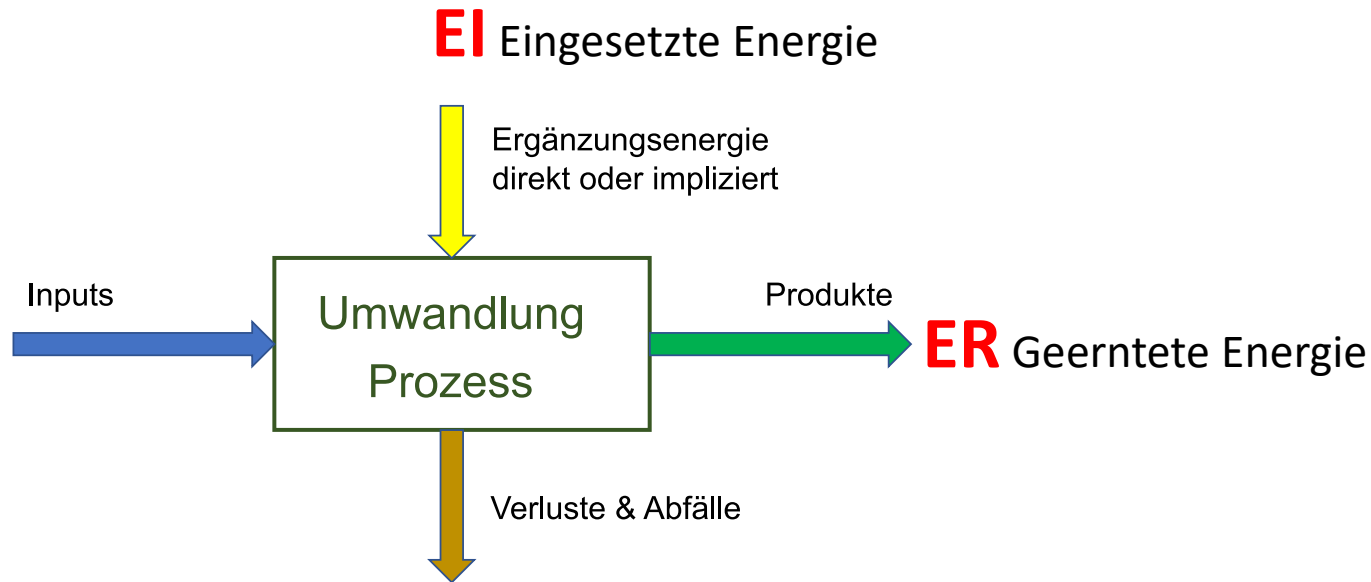
- **Temperatur:** Physikalische Grösse, die den Grad der thermischen Agitation der ein Material bildenden Teilchen charakterisiert.
Sie ist intensiv, da sie nicht von der Grösse des Systems abhängt.
- **Wärmekapazität:** Menge an Energie, die eine Masse oder ein Volumen von Materie akkumulieren kann.
Die Wärme, die zugeführt werden muss, um die Temperatur um ein Grad zu erhöhen, ausgedrückt bei konstantem Druck, C_p [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$]
oder bei konstantem Volumen, C_v [$J \cdot m^{-3} \cdot K^{-1}$].
- **Latente Wärme:** Wärme, die zugeführt wird, um den Zustand eines Materials zu ändern, z.B. zu schmelzen oder zu verdampfen, oder Wärme, die beim umgekehrten Phänomen, der Kristallisation oder Kondensation, freigesetzt wird, [$J \cdot kg^{-1}$].
- **Verbrennungswärme:** Die von einem Brennstoff bei der Verbrennung freigesetzte Wärme, die für jeden brennbaren Stoff charakteristisch ist, [$J \cdot kg^{-1}$].
Die Verdampfungswärme des bei der Verbrennung entstehenden Wassers muss berücksichtigt werden (oberer oder unterer Heizwert).

Menschliche Tricks, um etwas zu verändern.

Prozess



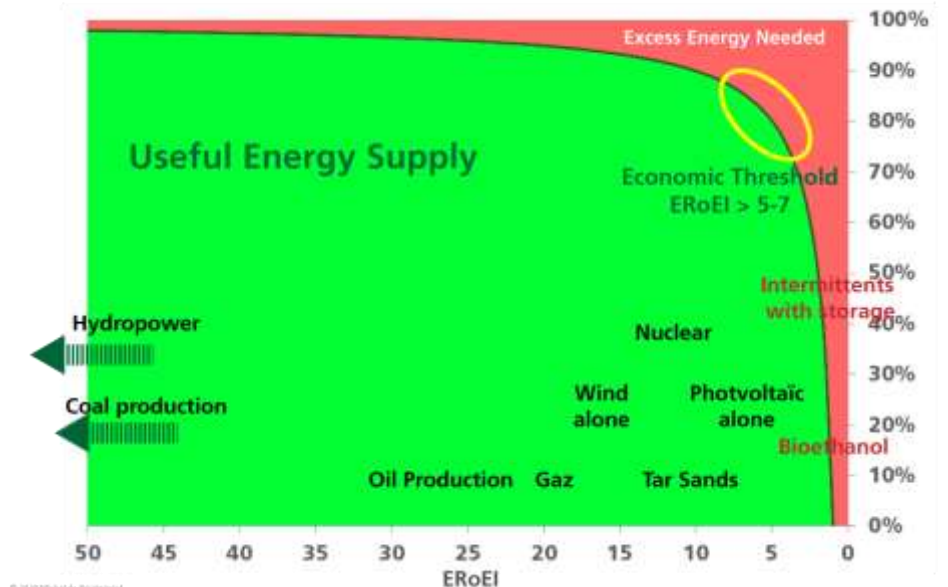
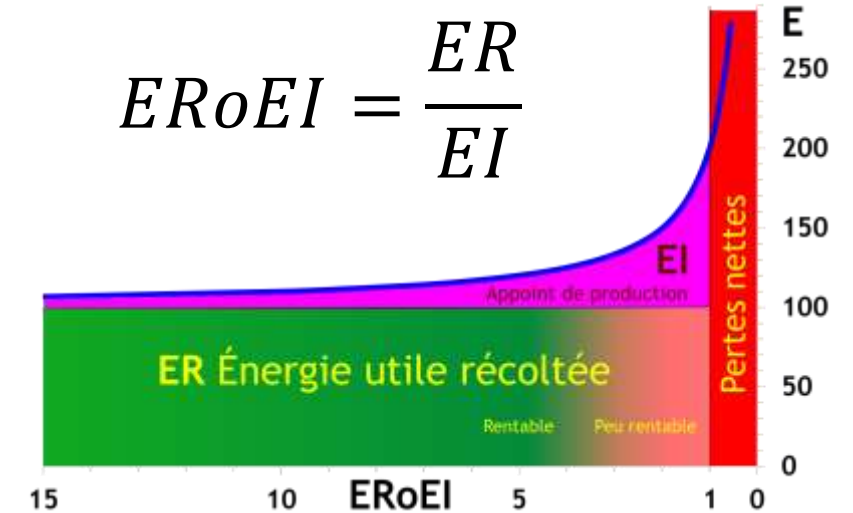
Autarke Ernte von Primärenergie



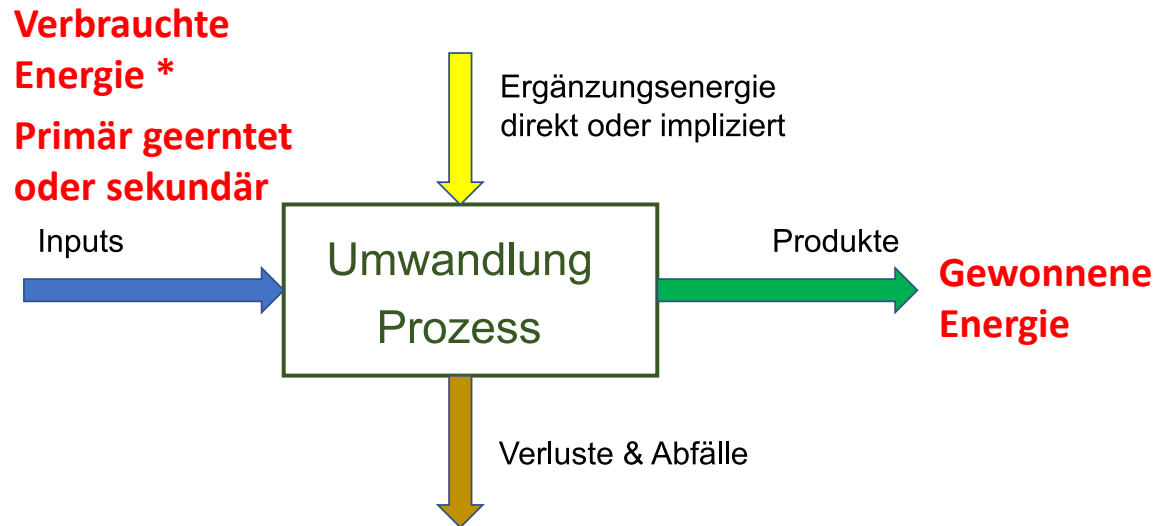
Wenn $EI > ER$, oder $ERoEI \leq 1$,
 der Prozess verbraucht mehr als er liefert,
 dies ist nicht nachhaltig, da es eine externe
 Quelle (Subvention) erfordert.

Wirtschaftliche Schwelle : $ERoEI \gg 5 \text{ à } 7$

$$ERoEI = \frac{ER}{EI}$$



Ausbeute – Effizienz - Wirkungsgrad



Laut BP hat ein 'normales' thermisches Kraftwerk einen Energiewirkungsgrad von 40%.
2,5 kWh Brennstoff müssen verbrannt werden, um 1 kWh Strom zu erzeugen.

Der Wirkungsgrad eines Pumpspeicherkraftwerks, das Energie speichert, indem es Wasser in die Höhe pumpt, liegt bestenfalls bei 80%.
125 kWh müssen verbraucht werden, um später 100 kWh wieder in das Netz einzuspeisen.
Die Differenz von 25 kWh wird bei Umgebungstemperatur abgeführt.

$$\eta = \frac{\text{Nützliches Produkt}}{\text{Eingesetzte Inputs}} = \frac{\text{Gewonnene Energie}}{\text{Verbrauchte Energie}}$$

Die Effizienz einer Wärmekraftmaschine hängt von der absoluten Temperatur [K] der Quelle (obere Temperatur) und der Temperatur der Energiesenke (untere Temperatur) ab, gemäss dem Gesetz von Carnot, das für ein isoliertes System gilt. :

$$\eta = 1 - \frac{T_{\text{Senke}}}{T_{\text{Quelle}}}$$

* Hinweis: nicht zu verwechseln mit EI von EROEI.
Nur die Inputs, die verarbeitet werden, werden berücksichtigt, nicht die Ergänzungsmittel.

Nutzungsgrad

Der Nutzungsgrad (*Capacity Factor*, CF) drückt die durchschnittliche Auslastung einer technischen Anlage in einem Zeitintervall (typischerweise ein Jahr) aus.

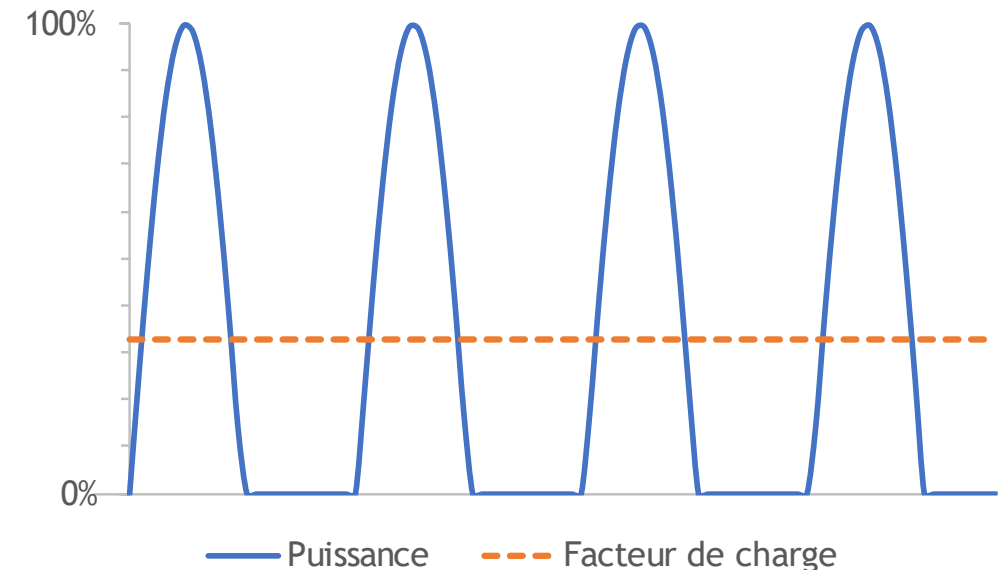
Er wird als das Verhältnis der tatsächlich erzielten Produktion zu der Produktion berechnet, die während des gesamten Zeitraums hätte erzielt werden können, wenn die Anlage kontinuierlich mit 100% ihrer Nennleistung betrieben worden wäre.

CF multipliziert mit 8760 drückt die Anzahl der äquivalenten Stunden aus, die in dem Jahr bei 100% der installierten Kapazität gearbeitet worden wären.

Der Wert $[100 - CF]$ ist die Rate der Nichtnutzung einer Anlage, die Rate der technischen Arbeitslosigkeit.

Typische CF-Werte für die Stromerzeugung :

- Photovoltaik in der Schweiz 11%, in der Sahara 25% ;
- Windkraftanlage in der Schweiz 20%, Offshore in Dänemark 40%;
- Laufwasserkraftwerk in der Schweiz 60% ;
- Speicherwasserkraftwerk in der Schweiz: ca. 20 % (Steuerung);
- Wasserkraft-Pumpspeicherwerk < 25 %;
- Kernkraftwerk: 80 bis 90%, abhängig von den Abschaltungen für Revision und Wartung;
- Wärmekraftwerk: von Null (Notstromdiesel) bis 80-90 % je nach Bedarf.



Sonneneinstrahlung und Photovoltaik

Sonneneinstrahlung:

Beim Eintritt der Erdatmosphäre, die 150 Millionen km von der Sonne entfernt ist, beträgt die Sonneneinstrahlung (überraschenderweise Solarkonstante genannt) $1361 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (zwischen 1413 im Perihel, Anfang Januar, und 1321 im Aphel, Anfang Juli).

Im Jahresdurchschnitt, unter Berücksichtigung der Sphärizität der Erde und ihrer Rotation, beträgt die empfangene Strahlung ein Viertel dieses Wertes, also $\sim 340 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

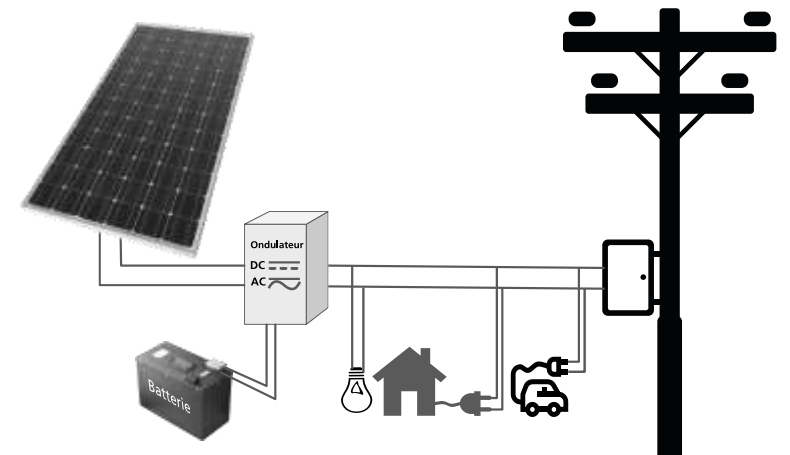
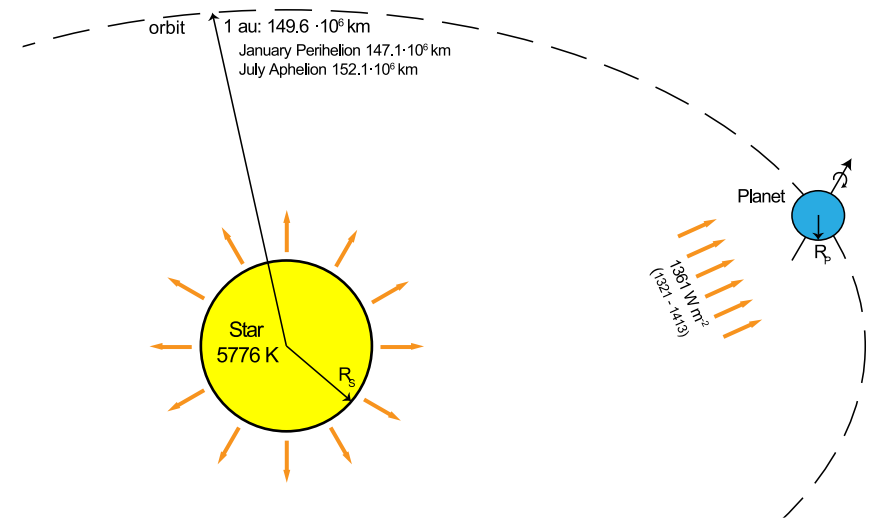
Gemessen am Boden wird diese Strahlung durch die Atmosphärenschicht und die darin befindlichen Wolken abgeschwächt. In der Schweiz und zur Mittagszeit ist mit einer maximalen Bestrahlung von $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ zu rechnen.

Photovoltaik (PV) :

Stromerzeugung, die die Fähigkeit eines Materials (z.B. Siliziumplatte) nutzt, die Sonneneinstrahlung in Elektrizität umzuwandeln.

Unter optimalen Bedingungen liefert ein modernes Solarmodul zur Mittagszeit eine Leistung von $200 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ in Form von Gleichstrom, der über einen Wechselrichter in Wechselstrom umgewandelt und in das Stromnetz gespeist wird.

In der Realität und aufgrund der Bewölkung liefert ein Modul mit einer Nennleistung von 200 W_p im Jahresdurchschnitt in der Schweiz nur etwa 22 Watt (CF = 11 %).

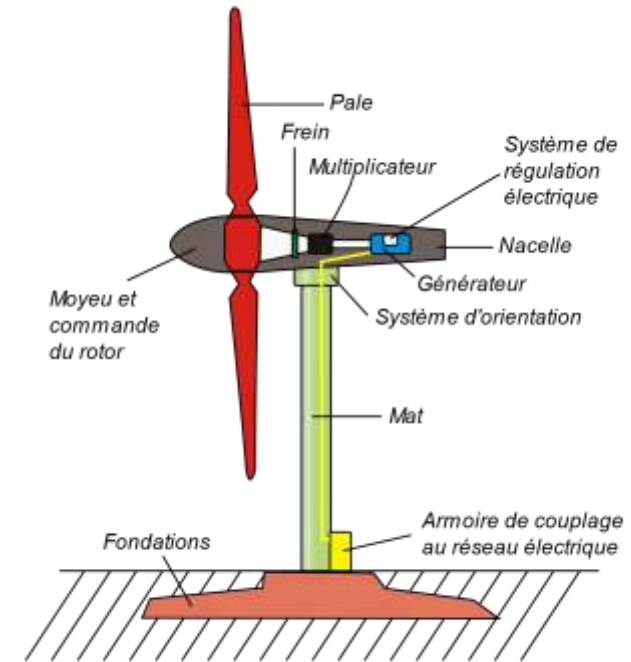


Windenergie

Umwandlung der kinetischen Energie des Windes in elektrischen Strom. Nach dem Betz'schen Gesetz können maximal 16/27 (59,3 %) der im Wind enthaltenen Energie geerntet werden.

Die Ernteleistung ist proportional zur dritten Potenz der Windgeschwindigkeit. Eine moderne Windkraftanlage hat verstellbare Rotorblätter, die es ermöglichen, den nutzbaren Bereich der Windgeschwindigkeit zu erweitern. Bei Überschreitung einer maximalen Geschwindigkeit muss die Turbine geflaggt werden.

Sie benötigt externe Energie, um zu starten oder sich bei Windstille in Bewegung zu halten (4-5% der Gesamtenergie, die sie erzeugt, oder mehr, wenn die Rotorblätter beheizt werden müssen, damit sie nicht vereisen).



Source : Wikipedia

Leistungskurve einer Windturbine Enercon E-126 EP4

Nennleistung: 4.2 MW

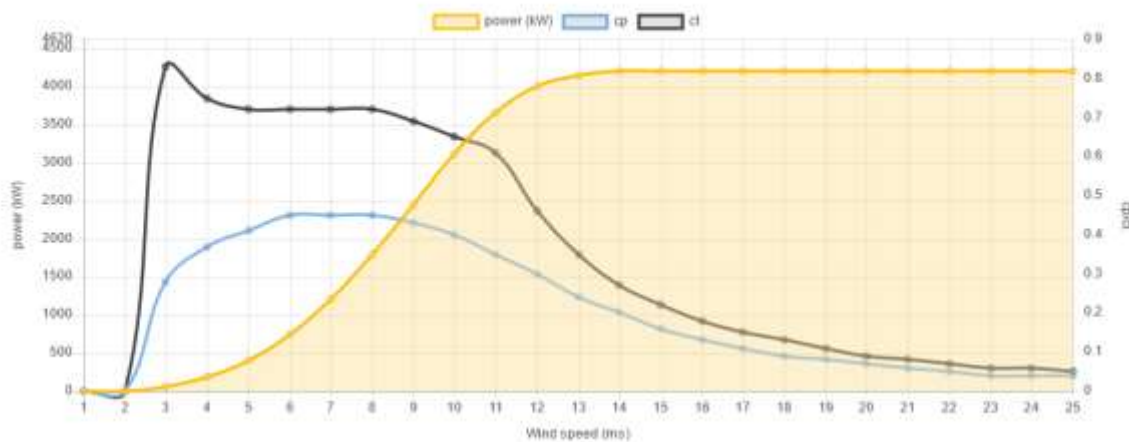
Rotordurchmesser: 127 m

Blattspitzgeschwindigkeit : 77 m/s oder 277 km/h

Gesamthöhe: 163 bis 210 m

Windbereich: 3 à 34 m/s

Power curve



Gelb: Leistungsabgabe (linke Skala)

Blau: Leistungskoeffizient = (erzeugte Leistung/im Wind enthaltene Leistung)

Schwarz: Schubkoeffizient

Quelle: <https://en.wind-turbine-models.com/turbines/1183-enercon-e-126-ep4>

Wärmepumpe

Eine thermische Vorrichtung, die aus einer kalten Quelle Wärme entzieht, um sie bei einer höheren Temperatur wieder abzugeben.

Oder : ..., die eine warme Senke erwärmt, um eine kalte Quelle zu kühlen. Um dieses Unterfangen zu vollenden, muss einem Kompressor elektrische Energie zugeführt werden.

Kühlschrank oder Klimaanlage:

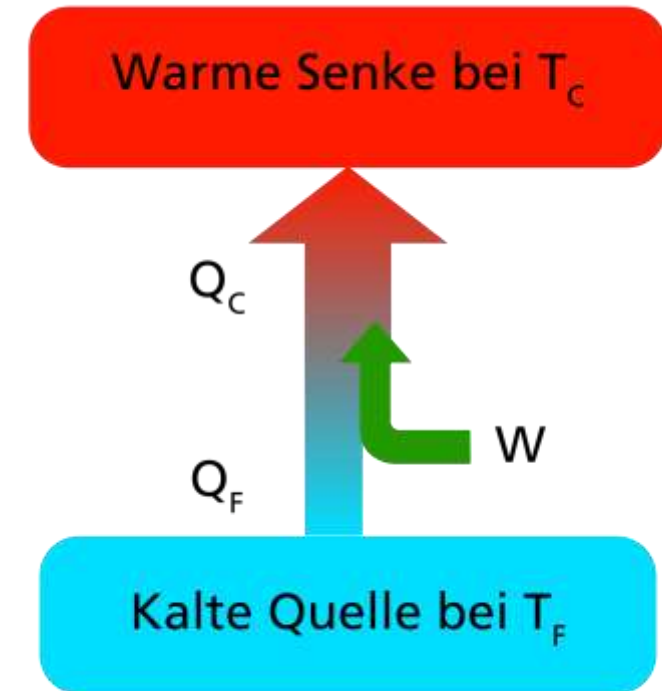
Die kalte Quelle ist das Innere des Kühlschranks oder des Zimmers, die warme Quelle ist die Umgebungsluft hinter dem Kühlschrank oder auf der Strasse, in beiden Fällen in der Nähe von Kakerlaken, die sich darüber freuen.

Wärmepumpe:

Die kalte Quelle, wo ein Kältemittel verdampft wird, ist die Aussenluft; die Luft im Inneren des Hauses ist die warme Senke, in der das Gas kondensiert, nachdem es verdichtet wurde (elektrischer Kompressor).

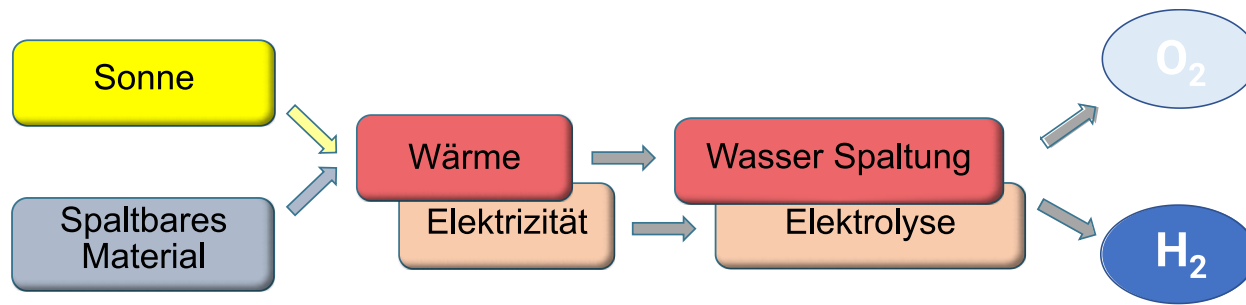
Wärmepumpen werden nach ihrer Leistungszahl (COP, *Coefficient of Performance*) spezifiziert, die den Quotienten aus der gewonnenen Wärme und der eingesetzten elektrischen Energie darstellt. Er beträgt in der Regel 3 bis 4.

Bei sehr kaltem Wetter verlieren sie einen Teil ihrer Effizienz und müssen durch eine direkte elektrische Heizung ergänzt werden.



$$COP = \frac{Q_C}{W_{él}}$$

Wasserstoff



Wasserstoff sollte eher als chemisches Reagenz (starkes Reduktionsmittel) angesehen werden, anstatt als Energieträger.

Er ist keine Antwort auf die Frage nach der Speicherung von intermittierender Elektrizität
(sein Nutzungsgrad wäre unzumutbar klein).

Herstellung:

- Teilweise Verbrennung von Erdgas (Methan), derzeit und industriell in sehr grossem Massstab.
- Elektrolyse von Salzsole (Nebenprodukt von Chlor und Natronlauge) oder Wasser mit Wirkungsgrad < 75%, wenig praktiziert.
- Thermolyse
Zukünftig mit Hochtemperatur-Kernkraft,
Herausforderungen:
Sauerstoffabtrennung, Katalyse, Wirkungsgrade.

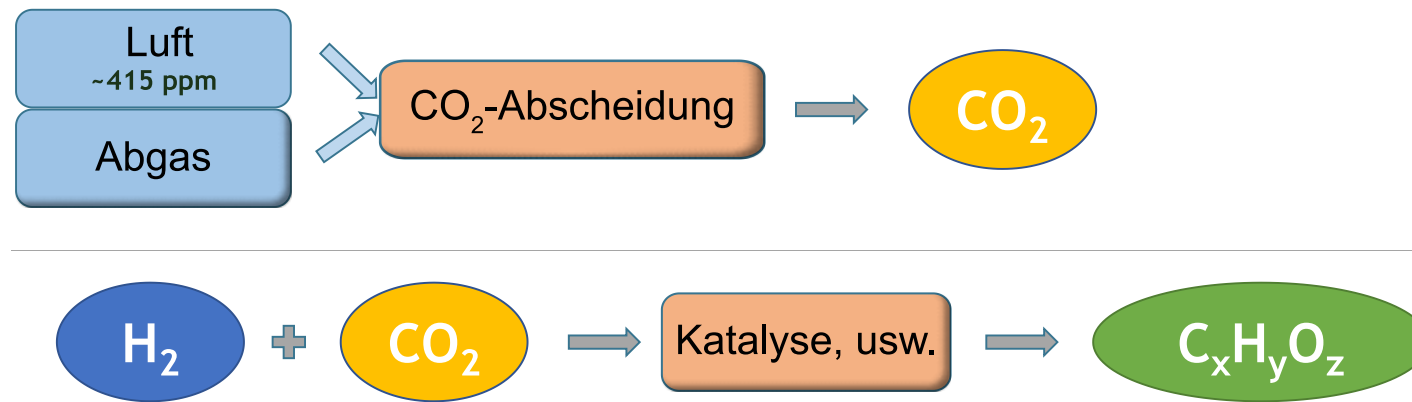
Eigenschaften :

- Explodiert zwischen 4 und 75 Vol.-% in der Luft, sehr geringe Mindestzündenergie.
- Verbrennungswärme 120 MJ/kg.
- Dichte: 0,09 Kg/m³ bei Umgebungsdruck, 42 Kg/m³ bei 700 bar, 72 Kg/ m³ in flüssiger Form bei -252,87 °C.
- Energiedichte in flüssiger Form 8 640 MJ/ m³, viermal weniger als Kerosin.

Verwendung:

- Ammoniak- und Stickstoffdünger-Synthese.
- Chemische Reduktionen.
- ~~Thermisch~~ (Turbinen, Brennstoffzellen, etc.)
eine teure Verirrung!
- Herstellung von synthetischen Kraftstoffen
Herausforderungen: Energieeffizienz und Kosten.

Synthetische Brennstoffe



Wasserstoff reduziert CO₂, das an der Quelle erfasst oder aus der Umgebungsluft abgeschieden wird (415 ppm).
Produkte: sauerstoffhaltige Kohlenwasserstoffe einschliesslich Methanol, Ameisensäure und andere.

Ziel: ein **neuer Energieträger** gewinnen...

- der **so dicht wie** Benzin oder Diesel ist,
- um ihn in **bestehenden Verbrennungsmotoren** zu verwenden,
- um Autos, LKWs, Züge, Schiffe und Flugzeuge **anzutreiben**,
- **ohne neue Schwierigkeiten** logistischer oder technischer Art.

Bekanntes industrielles Verfahren:

- Fischer-Tropsch, 1923

Probleme :

- Herkunft, Erträge und Kosten von Wasserstoff.

Herausforderungen :

- Katalyseprozess
- Energieeffizienz
- Kosten

Biomasse und Biotreibstoffe

Die Photosynthese dient dem Leben und nicht der Energiegewinnung.

Die Photosynthese ist im Frühjahr oder beim Wachstum von jungen Trieben besonders stark, funktioniert aber nur saisonal und bringt nur eine Ernte pro Jahr.
(oder zwei für bestimmte Kulturen in den Tropen).



Beispiel für Biomasse:

Aus einem Hektar hochproduktivem Wald können jährlich etwa 30 Tonnen trockenes Holz geerntet werden.

Bei einer Verbrennungswärme von $5 \text{ kWh}\cdot\text{kg}^{-1}$, wird eine Leistung von $1.74 \text{ W}_{\text{th}}\cdot\text{m}^{-2}$ erzeugt, während die Photovoltaik mit einem CF von 11% im Jahresdurchschnitt $22 \text{ W}_{\text{el}}\cdot\text{m}^{-2}$ in Form von direkt nutzbarer Elektrizität erntet.

Die Verhältnisse bei Bioethanol und Biokraftstoffen sind schlimmer.

Diese Kraftstoffe sind nur von Interesse, weil sie flüssig, leicht zu handhaben und zu lagern sind, und in herkömmlichen Verbrennungsmotoren und -turbinen verwendet werden können.

Energiedichten

Energieträger haben je nach ihrer Art eine unterschiedliche Massen- oder Volumendichte, was für ihre Lagerung und ihren Transport wichtig ist.

Energieträger	kWh/Einheit	Einheit
Benzin SP95	13	kg
	10	Liter
Erdgas	10.6	m ³
	14.8	kg
Wasserstoff	3.54	m ³
	39.4	kg
Kohle (Anthrazit)	7.5	kg
Holz und trockene Holzabfälle	5	kg
Uran angereichert auf 3,5% ²³⁵ U	960 000	kg
Bleibatterie	0.041	kg
Lithium-Ionen-Batterie	0.128	kg

Fussabdruck

Die von einem Kraftwerk belegte Landfläche hängt von der installierten Leistung [MW_e] und der verwendeten Technologie ab.

Darüber hinaus hängt die jährliche Produktion pro Flächeneinheit [$\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{Jahr}^{-1}$] hängt von dem Nutzungsgrad dieser Technologie am Ort ihrer Installation ab.

Mobilisierte Fläche für 1 MW	m^2/MW	Produktion $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{J}^{-1}$
1358 Pferde, die je 736 W leisten Futter 12 kg/Tag, prod. 20 000 kg/ha/Jahr	3 000 000	0.96
Photovoltaik (200 W_p/m^2)	5 000	193
Wind (Turbinen mit 3 MW_p , Durchmesser 120 m)	21 000	83
Laufwasserkraft (Rheinfelden, 100 MWe)	700	7 500
Speicherwasserkraft (Grande Dixence, Bieudron 1269 MWe)		
Speichersee 3,65 km^2	2 880	550
Einzugsgebiet 360 km^2	284 000	5.5
Kernkraft für einen isolierten Reaktor (Leibstadt, 1233 MWe)	170	44 000

PRINZIPIEN

Prinzipien müssen befolgt werden, um Dinge zu ermöglichen und Katastrophen zu vermeiden.

Es handelt sich hierbei nicht um moralische, sondern um praktische Anweisungen, obwohl es amoralisch ist, sie absichtlich nicht zu befolgen.

DEFINITIONEN

KONSEQUENZEN

Thermodynamik

Die vier Grundsätze der Thermodynamik müssen unbedingt eingehalten werden.

- 0.- Gleichgewicht:** Wenn sich ein System A mit B im Gleichgewicht befindet und B auch mit C im Gleichgewicht ist, dann ist A mit C im Gleichgewicht.
- 1.- Erhalt:** Die Energie bleibt erhalten. Die Energie eines isolierten Systems ändert sich nicht.
- 2.- Unordnung:** Der Grad der Unordnung in einem isolierten System (seine **Entropie**) kann nur zunehmen. Die Entropie ist maximal, wenn sich das System im Gleichgewicht befindet..
- 3.- Absolute Null:** Die Entropie einer reinen Substanz ist Null am absoluten Nullpunkt der Temperatur. (T= 0 Kelvin oder -273.15 °C, ein unerreichbares Absolutum)

Ermöglicht die Messung der Temperatur mit einem Thermometer.

Wenn sie sich ändert, so geschieht dies durch eine externe Quelle oder Senke.

Die Wiederherstellung der Ordnung erfordert eine externe Energiezufuhr oder führt zu mehr Unordnung an anderer Stelle im System.

Die Temperatur des interstellaren Raums liegt bei 2,7 K. Darunter sind keine Messungen möglich.

1. **Energie erneuert sich nicht.**

Ausser dem Leben ist nichts erneuerbar.

Was sich wiederholt, ist das Gegenteil von neu.

Energie wird dort geerntet, wo sie sich angesammelt hat oder wo sie vorbeikommt.

2. **Keine Energieumwandlung ohne Verluste.**

Die Verluste werden in Form von Wärme an die Umgebung der Umwandlungsanlage abgegeben.

Letztendlich werden diese Verluste in den interplanetaren Raum abgegeben.

3. Elektrische Versorgung eines Landes.

Zu jeder Zeit und ohne Unterbrechung zu erreichen durch

- die lokale Ernte von Primärenergien,
- die lokale Umwandlung von Sekundärenergie,
- Ergänzt durch Importe, um die momentane Marktnachfrage zu befriedigen, oder durch Exporte im Falle von Produktionsüberschüssen.

4. Elektrischer Strom ist als solcher nicht speicherbar.

Wenn er über die Nachfrage des Marktes hinaus verfügbar ist (Entnahme aus dem Netz durch alle Verbraucher), muss man ihn entweder unverändert exportieren, umwandeln, um ihn zu speichern, auf seine Produktion verzichten oder die Nachfrage ändern.

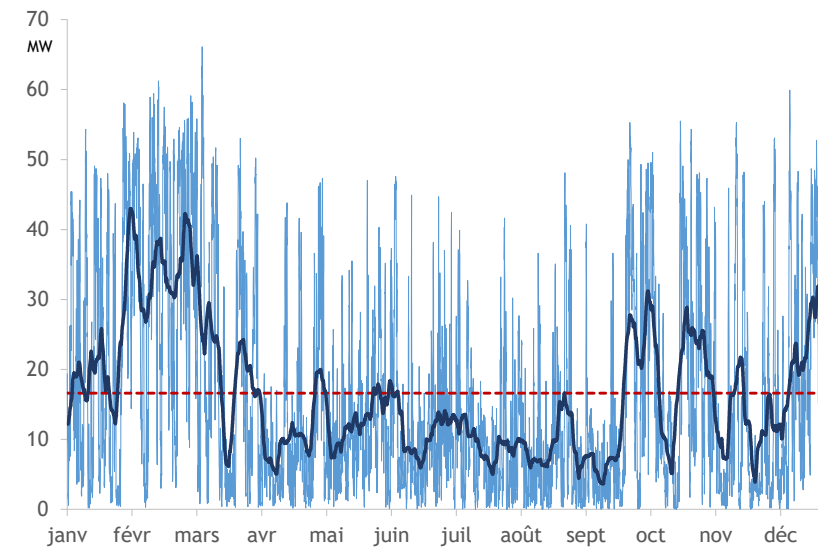
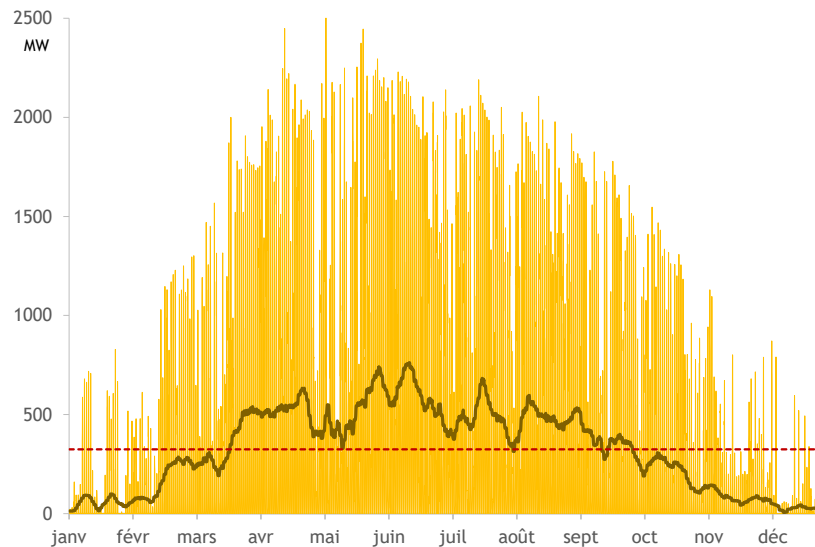
Die Speicherung von Elektrizität erfordert 6 Schritte :

- (1) Erzeugung des Stroms,
- (2) Transport zur Ladeeinrichtung,
- (3) Umwandlung in speicherbare Form,
- (4) Speicherung,
- (5) Umwandlung in elektrischen Strom,
- (6) Transport zum Nutzer dieses Stroms.

Der Nutzungsgrad (CF) eines solchen Systems ist bestenfalls der des ersten Schrittes.

5. Intermittierende und fatale Stromerzeugung.

Photovoltaik oder Windkraft können die Nachfrage niemals ohne zusätzliche kurz- und langfristige (saisonale) Speichersysteme und geeignete Übertragungsleitungen befriedigen.



Photovoltaikproduktion in der Schweiz im Jahr 2021 (links) und Windkraftproduktion im Jahr 2020 (rechts).

Die dunkle Kurve ist der geglättete Durchschnitt über 7 Tage.

Die rote gestrichelte Linie entspricht dem Nutzungsgrad CF.

Quelle: energy-charts.info, OFEN.

6. ERoEI:

Während ER relativ leicht zu definieren ist, ist dies bei EI nicht der Fall.

Ein Vergleich der energetischen, materiellen oder finanziellen Bilanzen zwischen verschiedenen Systemen muss **alle ihre Bestandteile während ihrer gesamten Lebensdauer umfassen** (Lebenszyklusanalyse):

- Bau.
- Betrieb einschliesslich der notwendigen Verarbeitungen und Lagerungen sowie der damit verbundenen Verluste.
- Aufbereitung von Abfällen.
- Ausgleich für negative Externalitäten oder Gutschrift, wenn diese positiv sind.
- Rückbau von mittlerweile obsolet gewordenen Anlagen.

7. EroEI >> 1

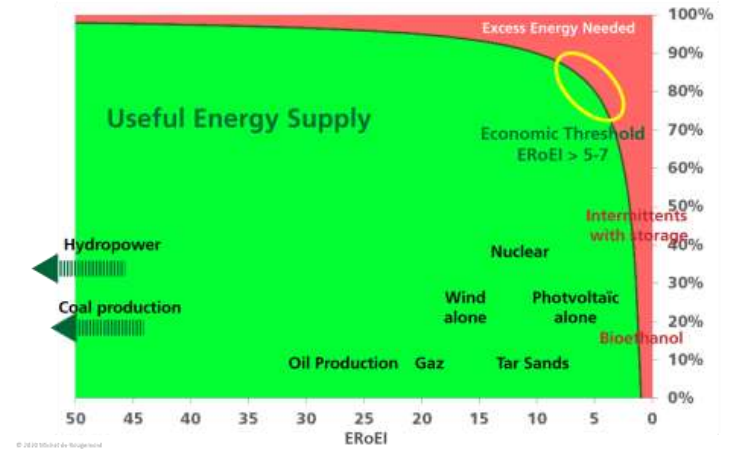
Dies ist eine Voraussetzung für die Gewinnung von Primärenergie, um eine allgemeine Energieversorgung zu gewährleisten.

Andernfalls muss eine andere primäre oder sekundäre Quelle dauerhaft eingesetzt werden, um diese primäre Quelle zu nutzen, was eine Subvention ist, die eine unmögliche Nachhaltigkeit verschleiert.

Eine andere Art, diesen Imperativ zu verstehen, ist, dass **die Zeit, in der die verbrauchte Energie von der erzeugten Energie zurückgezahlt wird, kürzer als die Lebensdauer der Anlage sein muss (*Pay Back Time*)**, da sonst mehr ausgegeben als eingenommen wird.

So kann die Versorgung einer Alphütte mit Photovoltaik durch einen solchen Zuschuss von anderer Seite erfolgen.

Es ist allerdings nicht möglich, eine ganze Volkswirtschaft zu versorgen, die mehr Energie verbrauchen würde, als sie ernten kann.



8. Nennleistung und Nutzungsgrad

Die nominale Leistung, die installiert werden muss, um eine Nachfrage zu befriedigen, ist **umgekehrt proportional zum Nutzungsgrad** der Technologie am Standort, an dem sie installiert ist.

Annahme:

Im Jahr 2050 oder nach erfolgter Dekarbonisierung wird die Nachfrage nach elektrischem Strom 90 TWh/a betragen, wovon 40 TWh/a möglicherweise durch Wasserkraft bereitgestellt werden.

Für die verbleibenden 50 TWh/a müsste eine Kapazität von :

- 52 GW_p PV, Solarmodule mit einem CF = 11%,
was 14 600 Fussballfeldern mit Modulen von 200 W/m² entspricht, oder
- 29 GW_p Windkraft mit einem CF = 20 %,
d.h. 10 000 Windturbinen von 3 MW, eine alle 2 km im ganzen Land, oder
- 9,5 GW_{el} CCGT Gaskraft mit CF= 60%,
d.h. 38 Anlagen von 250 MW, gleich wie das Reservekraftwerk in Birr (AG), oder
- 6,7 GW_{el} Kernenergie mit CF = 85 %,
d.h. 4 Anlagen mit 1,65 GW, die insgesamt 1,2 km² des Landes belegen.

9. CF einer verbrauchenden Anlage.

Der Nutzungsgrad einer Anlage, die die Produktion einer anderen verbraucht, ist **gleich oder kleiner** als der Nutzungsgrad der Quelle.

Dies betrifft Anlagen zur Speicherung von Strom in welcher Form auch immer.

Beispiel:

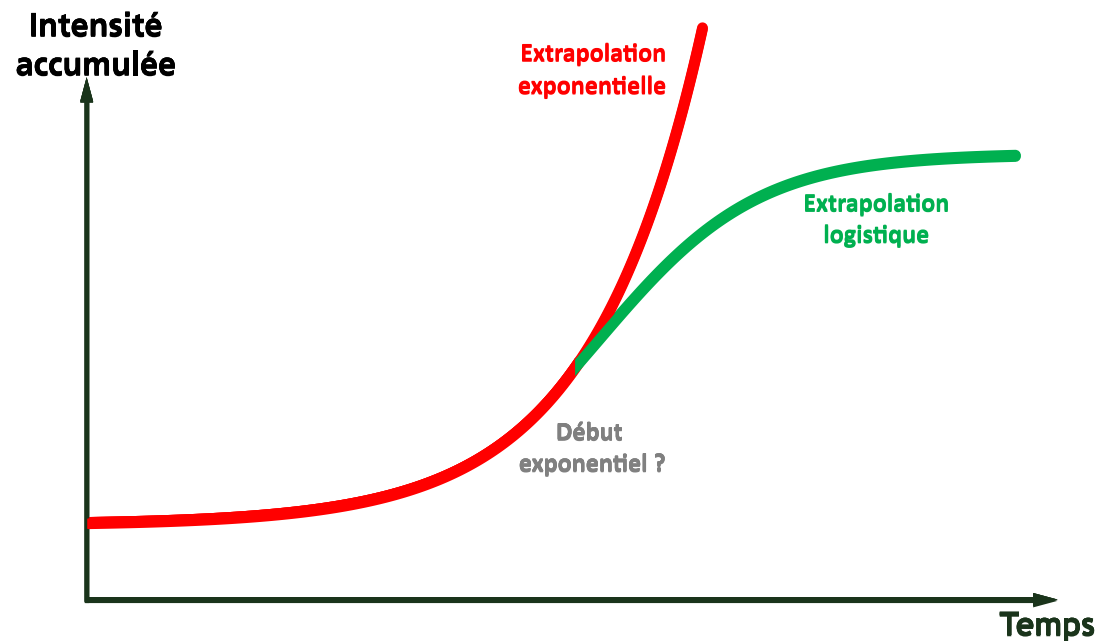
Eine Elektrolyseanlage, welche Wasserstoff mit Strom aus einem Windpark mit einem CF-Wert von 20% erzeugt, wird ebenfalls nur 20% seiner Nennleistung (die genauso stark sein muss wie die der Windkraftanlagen) nutzen.

Mit anderen Worten, es müssten viermal so viele Elektrolyseure gebaut werden, wie es mit einem "normalen" Ziel von $CF = 80\%$ wäre.

10. Exponential.

Nichts ist exponentiell, denn alles endet, nachdem die zur Verfügung stehenden Material- und Energieressourcen verbraucht wurden.

Die Entwicklung eines Phänomens, Explosion oder Demographie, das von Ungeduldigen, Besorgten und Panikmachern als exponentiell bezeichnet wird, endet wie eine logistische Funktion (eine Sigmoidform).



© 2020, Michel de Rougemont

11. Fakten sind hartnäckig.

KONSEQUENZEN

Aus den Fakten und Prinzipien müssen die Konsequenzen gezogen werden.

DEFINITIONEN

PRINZIPIEN

Geschichte

Die **Energiedichte** verbesserte sich nach und nach, als der Energieverbrauch auf Zugtiere und später auf **effizientere Maschinen** mit **leistungsfähigeren Energieträgern** verlagert wurde.

Dieser unbestreitbare Weg des Fortschritts wird nun unterbrochen durch die Förderung **so genannter erneuerbarer Energien, die keine sind** und die **in jedem System** und **in jedem noch so geringen Anteil,**

- **die Nachfrage nicht jederzeit befriedigen können,**
- **die Effizienz der Stromerzeugung reduzieren,**
- **die Kosten erhöhen,**
- **den Kapitalbedarf vervielfachen,**
- **das Netz destabilisieren,**
- **einen grösseren Umweltaudruck verursachen.**

Es gibt **zahlreiche Studien**, die die Energiestrategien des Landes unterstützen, belegen und fördern. Die **meisten sind lückenhaft, voreingenommen und mit Interessenkonflikten behaftet**. Sie berücksichtigen nicht oder nur unzureichend die Folgen der Intermittenz der so genannten erneuerbaren Energiequellen.

Die oben hervorgehobene Behauptung ist das Ergebnis von Überlegungen, bei denen all dies berücksichtigt wurde (Rougemont, 2022).

Bezugswerte

- Die Energieversorgung eines Landes **muss sich an der Nachfrage seiner Wirtschaft orientieren**, und zwar sowohl an der jährlichen als auch an der momentanen Nachfrage im Falle von Elektrizität.
- Die Produktion darf die Nachfrage nicht diktieren, obwohl besondere Anreize dazu führen können, dass sich ein Teil der Nachfrage an die Verfügbarkeit anpassen würde.
- Eine nicht befriedigte Nachfrage führt zu Verlusten: wirtschaftlicher Art, an Wettbewerbsfähigkeit und an Reputation.
- Eine intermittierende und fatale Produktion wie Photovoltaik oder Windkraft kann die Nachfrage ohne Speicher- und Transportsysteme nicht befriedigen, was zu Verlusten, Kosten und zusätzlichen Abfällen führt.
- Es ist professionell fahrlässig, nur den ersten Schritt der Produktion zu betrachten, isoliert von den anderen.

ERoEI (ter) und Ökonomie

- Es reicht nicht aus, dass ERoEI grösser als 1 sein soll.

Aufgrund der involvierten Effizienzen und der Einschränkungen bei der Verwendung von Ressourcen **muss ERoEI mindestens 5 bis 7 betragen**, damit die Gewinnung von Primärenergie wirtschaftlich (und damit sozial) erschwinglich ist.

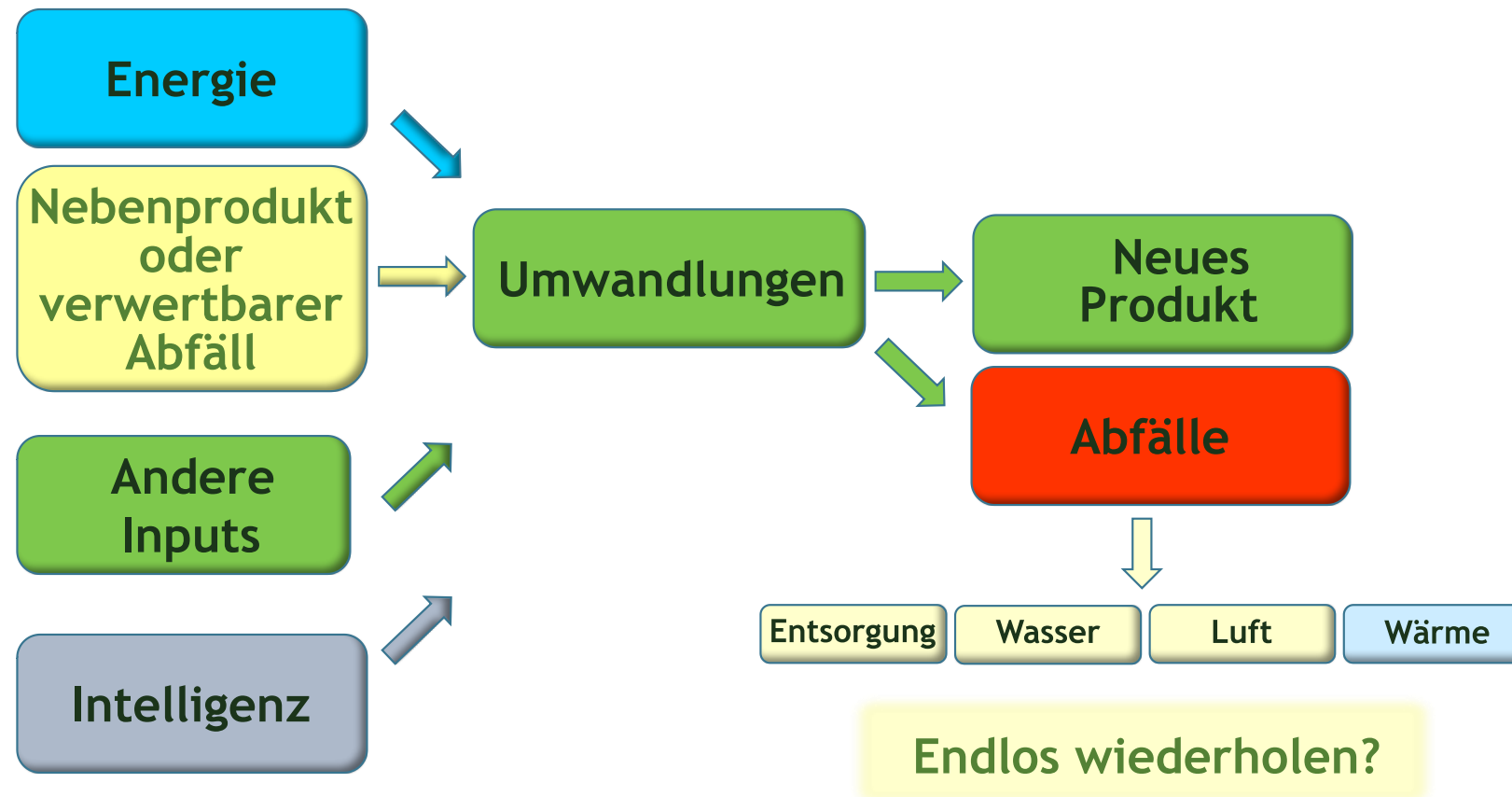
- Es sollte nicht vergessen werden, dass EI selbst von der Art und Weise abhängt, wie sie gewonnen wird.
- Je niedriger der ERoEI, desto höher ist der Anteil des BIP (Bruttoinlandsprodukt, ein Mass für den erzeugten Wohlstand), der für die Energieversorgung aufgewendet werden muss.
Niemand ausser den Gelbwesten weiss, wo die tolerierbare Obergrenze liegt.
- Die Gier der Akteure in diesem Sektor erklärt ihr Interesse daran, diesen ERoEI zu senken (= die Effizienz zu verringern).
- Das Ziel einer menschlichen Gesellschaft kann jedoch nicht nur darin bestehen, sich zu ernähren, zu kleiden, zu pflegen, Umweltverschmutzung zu vermeiden und Energie umzuwandeln.
Es wird mehr Energie benötigt, um grössere und ehrgeizigere, humanere Ziele zu verfolgen.
- Die wissenschaftliche und technische Literatur zum Thema ERoEI ist ausgesprochen dürftig. (Mearns, 2016), (Weißbach et al., 2013), (Ferroni & Hopkirk, 2016).

Technologische Substitution *(Energiewende)*

Nicht steuerbar und mit einem geringen Nutzungsgrad ist eine Technologie mit geringer Verfügbarkeit nicht in der Lage, eine Technologie mit hoher Verfügbarkeit zu ersetzen, unabhängig von ihren individuellen isolierten Kosten.

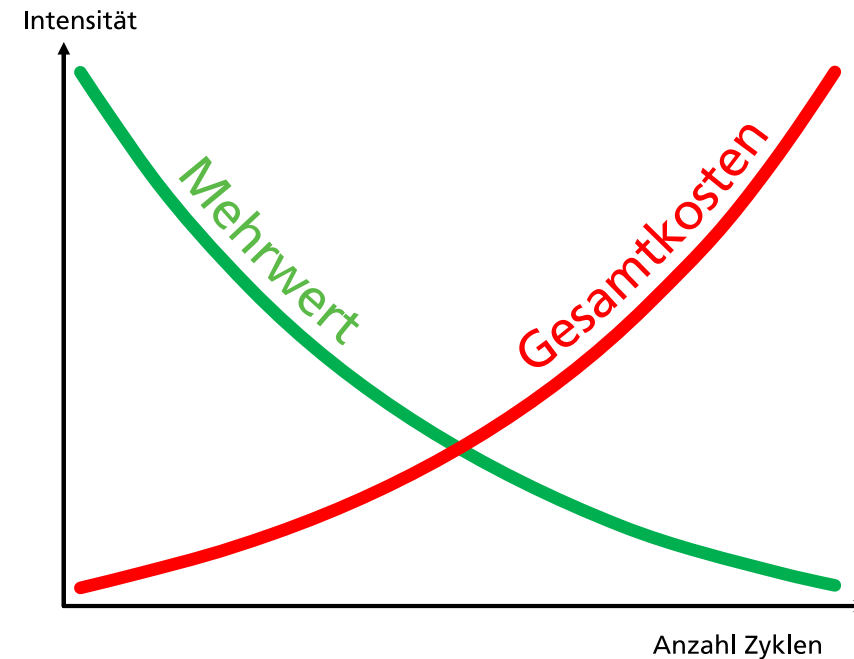
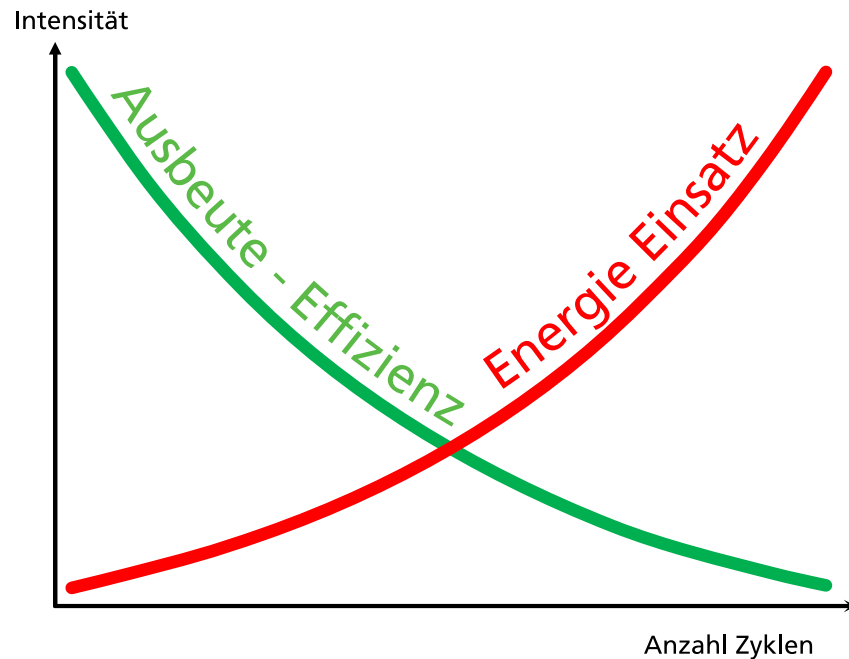
Wiederverwertung

Nicht alles ist wiederverwertbar und von Stufe zu Stufe vervielfachen sich die Wirkungsgrade und nähern sich dem Nullpunkt.



Grenzen der Wiederverwertung

Jedes Recyclingverfahren stösst an seine Grenzen, wenn die erforderlichen menschlichen, materiellen und energetischen Ressourcen den energetischen, wirtschaftlichen oder sozialen Wert der rezyklierten Sache übersteigen.



Investitionen und Kapitalbedarf

- Der Kapitalbedarf folgt dem gleichen Gesetz wie die Nennkapazität:

Er ist umgekehrt proportional zum Nutzungsgrad.

Darüber hinaus sind die Lebensdauern der verschiedenen Technologien unterschiedlich und müssen bei Vergleichen berücksichtigt werden.

- Ein Vergleich von Investitionen und Kosten ist nur für einen ähnlichen Umfang gültig: Befriedigung der Nachfrage zu jeder Stunde und über einen gemeinsamen Zeitraum, z.B. ein Jahrhundert.
- Die Tabelle auf der nächsten Folie zeigt eine grobe, aber realistische und vergleichbare Schätzung der Investitionen, die erforderlich sind, um 50 TWh/a zusätzlichen Strom (gemäss dem Beispiel auf Folie 28) mit nur einer der möglichen Technologien zu liefern. Zusammengefasst:

Photovoltaik Industriell	230%	14 600 Fussballfelder
Photovoltaik Individuell	460%	
Windkraft	150%	10 000 Turbinen mit je 3 MW _p
Gas Turbine	320%	38 mal Birr (250 MW _{el})
Kernkraft	100%	4 Reaktoren mit je 1.65 MW _{el} , 1.2 km ²

Vergleichbare Kosten

	Nennleistung	Spezifische Kosten	Investition total		Investition über ein Jahrhundert
	GW	Fr/kWe	Mrd Fr		Mrd Fr
Photovoltaik industriell			151		317
Module	52	1000	52	Lebensdauer 25 bis 30 Jahre	156
Lagerung-Rückgabe-Transport	52	1500	78	Lebensdauer 80 Jahre	98
Rückbau und Abfallentsorgung*		400	21		63
Photovoltaik individuell, auf Dächern			255		629
Module	52	3000	156	Lebensdauer 25 bis 30 Jahre	468
Lagerung-Rückgabe-Transport	52	1500	78	Lebensdauer 80 Jahre	98
Rückbau und Abfallentsorgung*		400	21		63
Windkraft			91		203
Turbinen**	27	1500	40	Lebensdauer 25 bis 30 Jahre	120
Lagerung-Rückgabe-Transport	27	1500	40	Lebensdauer 80 Jahre	50
Rückbau und Abfallentsorgung*		400	11		33
Erdgaz (kombinierter Zyklus CCGT)			176	Lebensdauer 40 Jahre	440
Immobilisiertes Kapital	9.5	630	6		15
Treibstoffeinkauf (derzeit bei 50 Fr/MWh), mit 60% Effizienz).			168	4,2 Mrd Fr/a	420
Rückbau und Abfallentsorgung*		210	2		5
Kernkraft			82		137
Immobilisiertes Kapital	6.7	5000	34	Lebensdauer >60 Jahre	57
Kauf von spaltbarem Material			18	²³⁵ U à 6 Fr/MWh	30
Rückbau und Abfallentsorgung*			30	10 Fr/MWh in Fonds eingezahlt	50

Notwendige Arbitrage

Vorspiegelung falscher Tatsachen

Die Produktion von Kohle- und Gaskraftwerken in Deutschland ist ein Deckmäntelchen für "erneuerbare Energien", deren Geburtsfehler verschämt verschwiegen werden sollen.

Entscheidungsfaktoren

- Der Vergleich der Leistungsfähigkeit der in Frage kommenden Technologien ist für ehrliche Menschen ohne Interessenkonflikte unbestreitbar.
- Die Wahl der sehr langfristigen Investitionen muss auch durch den umweltbezogenen und sozialen Wert gerechtfertigt werden, der einer Lösung gegenüber einer anderen zugeschrieben werden kann. Hierfür müssen jedoch aussagekräftige Indikatoren zur Verfügung stehen.
- CO₂ überall und für alles zu berechnen, ist nicht angemessen, da am Ende des Prozesses kein CO₂ mehr emittiert wird.
- Qualitative oder ideologische Kriterien oder politisch-emotionale Mutmassungen können keine pharaonischen Investitionen rechtfertigen.
- Die Angaben in der vorstehenden Tabelle beziehen sich nur auf die Stromversorgung. Hinzu kommen die Verbrauchsänderungen, die ebenfalls gigantisch sind.

Schlussbetrachtung

Die Dimensionen der Aufgabe sind so gewaltig, dass selbst ein reiches Land sich nicht den Luxus einer Ineffizienz leisten kann, die es zweifellos in den Ruin treiben würde.

Kontaktaufnahme

Für weitere Erläuterungen, Präsentationen oder ähnliches:

MR-int
Michel de Rougemont
Enterprise Consulting
Widhagweg 10
CH-4303 Kaiseraugst
Switzerland
Mobile +41 79 705 4811
contact@mr-int.ch

www.mr-int.ch blog.mr-int.ch



Kostenlos,
jedoch nicht
wertlos..

PayPal
Donate Here

