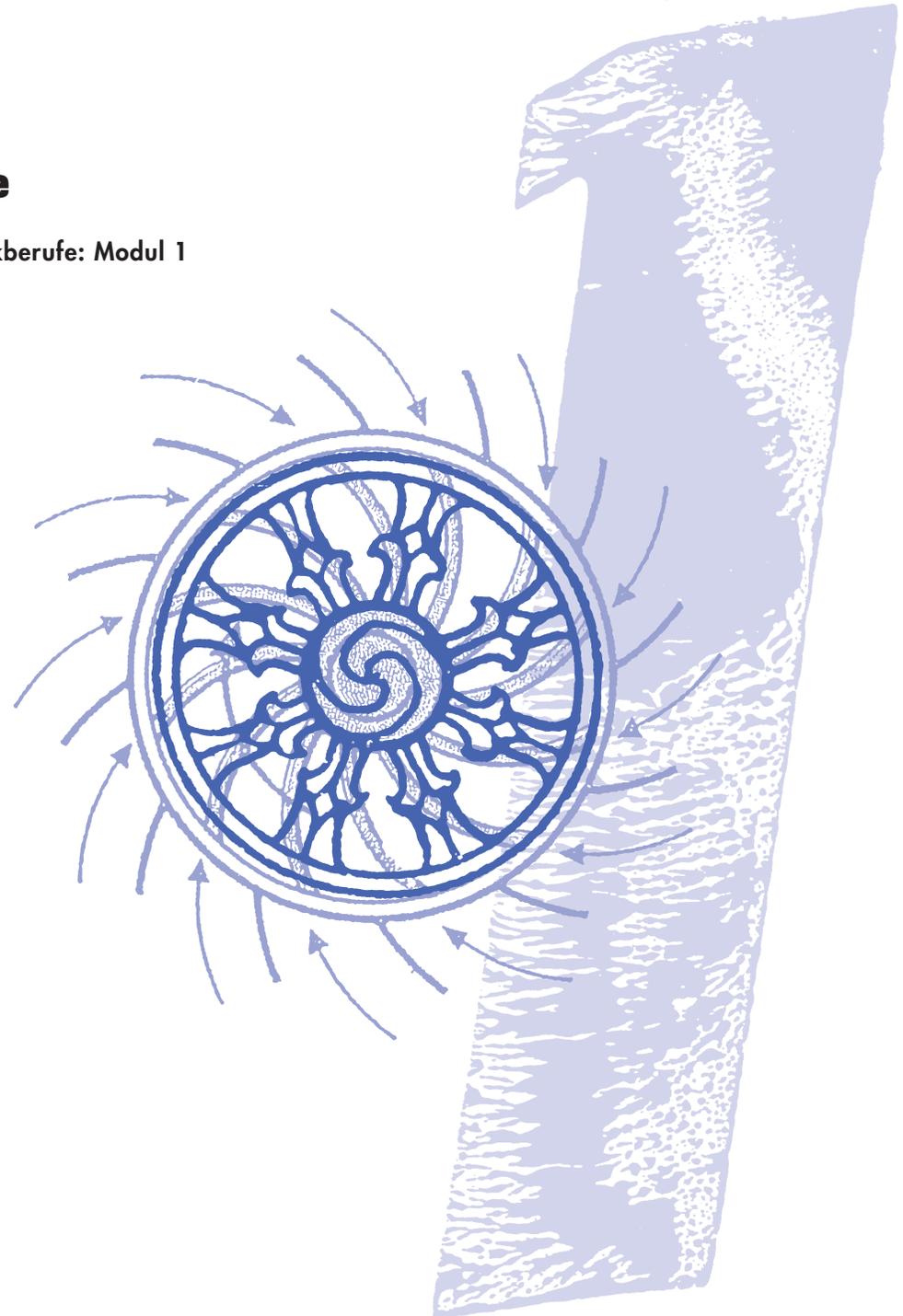


# Grundlagenwissen Energie

Energie im Unterricht, Module für Maschinenbau-, Elektro- und Informatikberufe: Modul 1

- 1 Einführung: Worum geht es ?**
- 2 Lernziele**
- 3 Vorschläge für den Unterricht**
- 4 Fachinformation**
  - **Wesen und Formen der Energie**
  - **Masseinheiten**
  - **Energiequellen**
  - **Energieumwandlung**
  - **Energieverlust und Wirkungsgrad**
  - **Transport und Lagerung**
  - **Graue Energie**
- 5 Aufgaben, Lösungsvorschläge**
- 6 Weiterführende Literatur**
- 7 Bild- und Textnachweis**
- 8 Vorlagen**





## 1 Einführung: Worum geht es ?

### **Energie ist lebensnotwendig**

In prähistorischer Zeit lebten Mensch und Tier von denselben Energiequellen, von der Muskelkraft und vom Sonnenlicht. Vor etwa 600'000 Jahren zähmten unsere Vorfahren das Feuer. Seither kamen sie nie ohne Energiequellen aus. Zunächst handelte es sich während Jahrtausenden um unerschöpfliche Quellen oder um Quellen, die sich ständig erneuern: Sonne, Holz und, später, Wind und Wasser.

Mit der Erfindung der Dampfmaschine vor etwa 300 Jahren brach die Ära der intensiven Ausbeutung der enormen Brennstoffvorräte an, die sich in Jahrmillionen angesammelt hatten: zuerst Kohle, dann Erdöl und Erdgas. Gegen Ende des 19. Jahrhunderts baute der Mensch die ersten Wasserkraftwerke. Seit ein paar Jahrzehnten schliesslich beherrscht er die Kernspaltung.

Die Ausbeutung der verschiedenen Ressourcen hat das menschliche Leben ausserordentlich erleichtert. Gleichzeitig zeigten sich mit dem ständig steigenden Energiekonsum auch dessen negative Seiten – die Umwelt steht unter einem immer grösser werdenden Druck – und es wurde klar, dass die Vorräte an fossilen Energieträgern (Erdöl, Erdgas, Kohle) sowie die nuklearen Brennstoffe irgendwann einmal zur Neige gehen würden.

Während Jahrtausenden entwickelte sich der Energieverbrauch parallel zur demografischen Entwicklung. Die Erschliessung der fossilen Energieträger und die demografische Explosion im 20. Jahrhundert verursachten einen dramatischen Anstieg des Energieverbrauchs. Dieser Konsum wird weiter ansteigen, und man wird sich darum sorgen müssen, dass diese zusätzlichen Energiemengen nicht allein von den Industrieländern in Beschlag genommen, sondern auch den Entwicklungsländern zur Verfügung gestellt werden.

Heute werden 80 Prozent der weltweiten Energieressourcen von den Industrieländern beansprucht, in denen nur 30 Prozent der Erdbevölkerung leben.

Offen bleiben die Fragen, wie sich der Energiebedarf künftig entwickeln wird, und ob sich der Energiekonsum stabilisiert. Zahlreiche Faktoren können diese Prozesse beeinflussen.

Insofern Energie aus der modernen Zivilisation nicht wegzudenken ist, muss der Mensch neue Ressourcen erschliessen und zugleich den Verbrauch drosseln. Wichtig werden in diesem Zusammenhang alternative Energieformen, die die Umwelt weniger belasten.



## 2 Lernziele

### Die Lernenden ...

- zählen die verschiedenen Energieformen auf und unterscheiden zwischen erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energiequellen.
- wissen, was Energiequalität und Wirkungsgrad der Umwandlung einer Energieform in eine andere bedeuten.
- kennen den Begriff der verfügbaren Leistung und führen einfache Messungen zum Vergleich des Wirkungsgrads durch.
- erklären, was unter dem Ausdruck «graue Energie» verstanden wird.

### Beispiele von Antworten:

- Energie kommt in sechs verschiedenen Energieformen vor: thermische, mechanische, chemische und elektromagnetische Energie sowie Nuklear- und Strahlungsenergie.
- Die Energiequellen werden in zwei Kategorien aufgeteilt, einerseits erneuerbare Quellen wie Sonnenenergie, Holz, Wasserkraft, ..., andererseits nicht erneuerbare, beispielsweise Kohle, Erdöl, Gas, Uran, ...
- Die Umwandlung der Energie läuft in den drei folgenden Phasen ab:
  - Primärenergie (Kohle, Erdöl, Wasser, Strahlung, ...);
  - Sekundärenergie (Benzin, Elektrizität, Fernheizung, ...);
  - Endenergie, vom Verbraucher bezogene Energie.  
Bei jeder Energieumwandlung entstehen Verluste: verlorene Energie = eingespeiste Energie – nutzbare Energie.
- Der Wirkungsgrad der Energie wird wie folgt bestimmt:  $\text{Wirkungsgrad} = \frac{\text{abgegebene (verfügbare) Leistung}}{\text{aufgenommene Leistung}}$ .
- Die versteckte Energie, die zur Herstellung eines Produkts benötigt wird, die Energie, die für mit der Produktion verbundene Dienstleistungen gebraucht wird, oder die für die Abfallbeseitigung nötige Energie wird graue Energie genannt.



- legen die Speichermöglichkeiten verschiedener Energieträger dar.
- Leicht speicherbar sind feste oder flüssige Stoffe als Energieträger (Holz, Erdöl, ...). Gasförmige Stoffe bieten grössere Schwierigkeiten, da die Gefahr der Verflüchtigung besteht. Sonnenstrahlung und Elektrizität sind dagegen nur beschränkt und mit grossem Aufwand (Umwandlung in eine andere Energieform) speicherbar.



### 3 Vorschläge für den Unterricht

#### **CD-ROM «Electricpower»**

Diese Doppel-CD-ROM erläutert die geheimnisvolle und geheime Welt der Elektrizität. 220 Animationen, 50 Videosequenzen und 1100 Fotos geben einen Einblick in Geschichte, Produktion, Geografie, Anwendungen, Berufe, Wirtschaft, Politik, Zukunft und Wissenschaft. Ein interaktives Spiel ermöglicht den Betrieb eines elektrischen Netzes in Echtzeit. Die bildgesteuerte Suche kann verwirren. Bestellungen unter Telefonnummer 021 310 30 30 oder per E-Mail an info@electricite.ch.

#### **Schriften der «Infel»**

Von der Infel, Postfach, 8023 Zürich, herausgegebene Schriften, die z.B. folgende Themen darlegen:

- Energie und Umwelt
- Erneuerbare Energie
- Wie funktioniert ein Kernkraftwerk?
- Von der Wasserkraft zur Kernkraft, eine Lektion Physik

#### **Websites im Zusammenhang mit dem Thema Energie**

Die folgende Liste ist nicht vollständig und enthält vorwiegend Schweizer Websites. In der Regel finden sich auf diesen Sites Links zu anderen Anbietern.

#### **– Energie allgemein**

www.iea.org  
*International Energy Agency*  
 www.energie.ch  
*Schweizer Energie-Site*

www.admin.ch/bfe

*Bundesamt für Energie*

www.bp.com/bpstats/index.html

*Weltweite Energiestatistik*

www.admin.ch/bfs

*Bundesamt für Statistik*

www.admin.ch/buwal

*Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft*

www.eren.doe.gov

*US-Energiedepartement – rationeller Einsatz von Energie, erneuerbare Energie*

#### **– Erneuerbare Energieträger**

www.swissolar.ch

*Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für Solarenergie*

www.sses.ch

*Schweizerische Vereinigung für Sonnenenergie*

www.suisse-eole.ch/d

*Site zum Thema Windenergie*

www.juvent.ch

*Firma, die die Windräder im Jura (Mont Crosin) betreibt*

www.aseb.ch

*Schweizerische Vereinigung für Holzenergie*

www.abfall.ch/dechets/arrbois

*Westschweizer Verband zur Förderung von Abfallholz (in französischer Sprache)*

www.dhm.ch

*Deep Heat Mining: Geothermische Wärme (in englischer Sprache)*

www.perso.wanadoo.fr/ajena

*Erneuerbare Energie (franz. Site)*



– **Wärmepumpen**

[www.wpz.ch](http://www.wpz.ch)

*Wärmepumpen-Testzentrum Winterthur-Töss*

[www.waermepumpe.ch](http://www.waermepumpe.ch)

*Internationales IEA Heat-Pump Program, Schweizer Site*

– **Elektrizität**

[www.strom.ch](http://www.strom.ch)

*Verband Schweiz. Elektrizitätswerke,  
Links zu Werken*

[www.infel.ch](http://www.infel.ch)

*Kommunikationsagentur rund um den Strom*

[www.atel.ch](http://www.atel.ch)

*Atel Aare-Tessin AG für Elektrizität*

[www.bkw.ch](http://www.bkw.ch)

*BKW FMB Energie AG*

[www.eos-gd.ch](http://www.eos-gd.ch)

*Energie Ouest Suisse und Staumauer Grande Dixence (in französischer Sprache)*

[www.egl.ch](http://www.egl.ch)

*Elektrizitäts-Gesellschaft Laufenburg AG*

[www.nok.ch](http://www.nok.ch)

*Nordostschweizerische Kraftwerke AG*

[www.edf.fr](http://www.edf.fr)

*Electricité de France (franz. Site)*

[www.hydro.qc.ca](http://www.hydro.qc.ca)

*Hydroquébec, Kanada (kanadischer Site)*

– **Fossile Energieträger**

[www.erdoel.ch](http://www.erdoel.ch)

*Erdöl Vereinigung*

[www.erdgas.ch](http://www.erdgas.ch)

*Verband der Schweizerischen Gasindustrie*

– **Kernenergie**

[www.atomenergie.ch](http://www.atomenergie.ch)

*Schweizerische Vereinigung für Atomenergie*

[www.hsk.psi.ch](http://www.hsk.psi.ch)

*Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen*

[www.nagra.ch](http://www.nagra.ch)

*Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle*

– **Rationeller Energieeinsatz**

[www.minergie.ch](http://www.minergie.ch)

*Techniken mit niedrigem Energieverbrauch (Minergie-Label)*

[www.infoenergie.ch](http://www.infoenergie.ch)

*Informationen über Energie*

[www.energieagentur.ch](http://www.energieagentur.ch)

*S.A.F.E. Schweiz. Agentur für Energieeffizienz*

[www.topten.ch](http://www.topten.ch)

*Die besten Geräte, Haustechnikkomponenten, Verkehrsmittel etc.*

[www.energeavia.org](http://www.energeavia.org)

*Ländergruppe mit Labels für elektronische Apparate*

[www.impulsprogramm.de](http://www.impulsprogramm.de)

*Niedrigenergie-Haus, elektronische Apparate (deutscher Site)*

[www.iiec.org](http://www.iiec.org)

*International Institute for Energy Conservation*



### **Führung durch ein Elektrizitätswerk**

#### Kernkraftwerke

- Kernkraftwerk Gösgen; Leistung 970 MW  
4658 Däniken 062 288 20 00
- Kernkraftwerk Leibstadt; Leistung 1030 MW  
4353 Leibstadt 056 267 72 50

#### Windkraftwerk

- Centrale éolienne Juvent, Mont-Crosin  
2610 Saint-Imier 032 941 15 55

#### Sonnenkraftwerk

- Centrale photovoltaïque Mont-Soleil  
032 941 15 55 (nachmittags)

### **Besuch einer Fabrik, die die Abwärme nutzt**

(Weitere Adressen aus Faltblättern «gute Beispiele» von Infoenergie)

In der auf Metallbehandlung spezialisierten Firma Anox AG in Affoltern a.A. wird die Abwärme genutzt. Kühlanlagen entziehen dem Eloxierprozess die überschüssige Wärme, die in einem Speicher gelagert und schliesslich für die Raumheizung, für die Vorerwärmung der Luft und für industrielle Zwecke, welche auf Wärme mit niedriger Temperatur angewiesen sind, eingesetzt wird. Ist der Speicher voll, gelangt die überschüssige Wärme in einen Kühlturm.

Adresse: Anox AG  
Eloxalwerk  
Lindenmoosstrasse 11  
8910 Affoltern am Albis  
Tel. 01 761 73 28  
Fax 01 761 87 33

### **Besuch einer Installation mit Wärme-Kraft-Koppelung**

Die beiden Kompaktanlagen mit Wärme-Kraft-Koppelung der Heizzentrale Hardau erzeugen die Heizwärme für etwa 1000 Wohnungen, die umliegenden Schulhäuser, ein Hallenbad und ein Altersheim. Die Anlage gehört der Stadt Zürich und wurde im Januar 1990 in Betrieb genommen.

Adresse: Komplex «Hardau»  
8047 Zürich  
Tel. 01 493 16 28

### **Kleine Sonnenenergieanlage**

In Elektronik- oder Solarzubehörläden gibt es Mini-Solarzellen zum Betrieb eines kleinen Radios. Also einen passenden Stecker beschaffen, und schon ist die Solarstromanlage fertig! Scheint die Sonne, läuft die Musik, Wolken lassen sie verstummen. Mit einem Akku liessen sich sonnenlose Stunden überbrücken, bei Sonnenschein kann er auch von den Solarzellen aufgeladen werden.



## 4 Fachinformation

### 4.1 Wesen und Formen der Energie

#### Was ist Energie?

Energie bedeutet so viel wie das Vermögen, eine bestimmte Arbeit zu verrichten: eine Kraft  $F$  auf eine Strecke  $s$  ausüben, eine Masse  $m$  aus der Ruheposition auf die Geschwindigkeit  $v$  beschleunigen, eine elektrische Ladung  $q$  unter einer Spannungsdifferenz  $V$  bewegen, eine Masse  $m$  auf eine Höhe  $h$  hochheben. In jedem Fall muss eine bestimmte Menge Energie aufgewendet werden:  $E = F \cdot s = \frac{1}{2}m \cdot v^2 = q \cdot V = m \cdot g \cdot h$ . Energie ist also diejenige Grösse, die nötig ist, damit «etwas» geschieht. Es verwundert deshalb nicht, dass der Begriff «Energie» in den meisten Naturwissenschaften, in der Technik und sogar in den Wirtschaftswissenschaften gebräuchlich ist, und dass er bei allen menschlichen Tätigkeiten eine so grundlegende Rolle spielt.

Zunächst wird Energie in die folgenden Grundformen eingeteilt:

#### Thermische Energie

Wärme ist eine Energieform, die in der Erhöhung oder Verminderung der Temperatur oder in einer Veränderung des Aggregatzustandes zum Ausdruck kommt.

#### Mechanische Energie oder Arbeit

Hier handelt es sich um die Energie eines Körpers, der sich bewegt. Sie kann zwei Formen annehmen:

- Unter kinetischer Energie versteht man diejenige Energie, die in der Bewegung steckt. Beispiele: ein fahrendes Fahrzeug; das Wasser, das durch

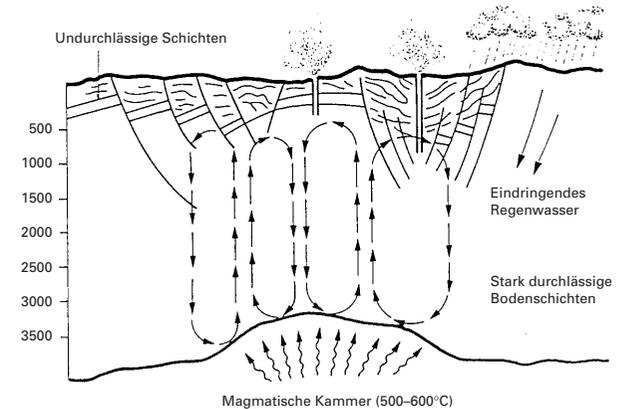


Abb. 1: Funktionsweise der Geysire



Abb. 2: Staumauer eines Wasserkraftwerkes



- eine Turbine fließt und eine Turbine antreibt.
- Unter potenzieller Energie versteht man Energie-reserven, die zum gewünschten Zeitpunkt eingesetzt werden können, beispielsweise das hinter einer Staumauer zurückgehaltene Wasser, das kinetische Energie liefert, sobald die Schleusen geöffnet werden. Oder ein am Hang geparktes Auto, das sich in Bewegung setzt, sobald die Bremsen gelöst werden.

### Chemische Energie

Chemische Energie hängt mit der Struktur der Materie zusammen, mit den Bindungen zwischen Atomen oder Molekülen. Chemische Energie lässt sich in elektrische Energie umwandeln. Beispiel: die Batterie, die eine Lampe speist.

### Kernenergie

Kernenergie hängt mit der Anziehungskraft zwischen den Bestandteilen des Atomkerns zusammen. Sie entsteht, sobald schwere Atomkerne gespalten werden (Kernspaltung), oder wenn leichte Atomkerne verschmelzen (Kernfusion). Mit dieser Energieform ist die Erzeugung von Radioaktivität verbunden.

### Elektromagnetische Energie

Elektromagnetische Energie hängt mit der unterschiedlichen elektrischen Ladung zweier Körper zusammen. Sie lässt sich besonders leicht umwandeln und transportieren, aber kaum speichern.



Abb. 3: Elektrische Batterien



Abb. 4: Kernkraftwerk



Abb. 5: Hochspannungsleitung für elektrischen Strom



### Strahlungsenergie

Darunter versteht man die mit Strahlen transportierte Energie, die sich in elektrische oder thermische Energie umwandeln lässt, beispielsweise über einen mit Solarzellen betriebenen Generator oder einen Kollektor (Wärmeaustauscher).

### Solarzellen

Mittels Solarzellen lässt sich Sonnenenergie direkt in Elektrizität umwandeln. An unerschlossenen Standorten kann dank Solarzellen der Bau teurer Leitungen dahinfallen (Berghütten, Ferienhäuser). Auf grossen Gebäuden und wo sie sich architektonisch integrieren lassen, können Solarzellen die Wirtschaftlichkeit ansonsten ungenutzter Flächen erhöhen. Übersteigt die Produktion den Bedarf des Gebäudes, so kann der Überschuss ins elektrische Verteilnetz zurückgespeist werden.

Diese Einspeisung muss von den Elektrizitätswerken in Anwendung der schweizerischen Gesetzgebung vergütet werden.

### Wärmekollektoren

Die durch Sonneneinstrahlung entstehende Wärme lässt sich einfangen, um die Temperatur von Warm- oder Heizungswasser (Wohnhäuser, Fabriken, Geschäftslokale, landwirtschaftlich genutzte Gebäude) oder von Wasser eines Schwimmbekens zu erhöhen. Die Sonneneinstrahlung wird auch beim Trocknen von Heu genutzt.

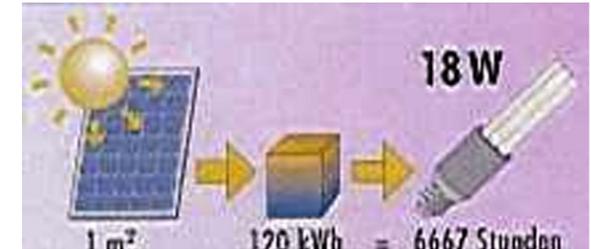


Abb. 6: Nutzung der Strahlungsenergie zur Stromproduktion



Abb. 7: Freistehendes Fotovoltaik-Panel

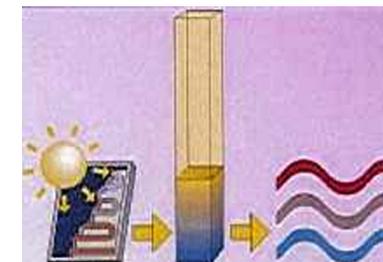


Abb. 8: Nutzung der Strahlungsenergie zur Wassererwärmung

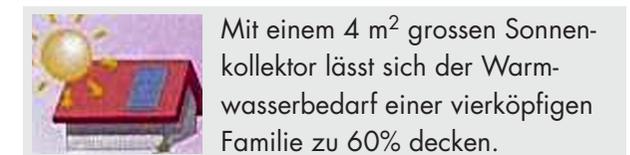


Abb. 9: Ins Dach integrierte Sonnenkollektoren



## 4.2 Masseinheiten

Die verschiedenen Formen der Energie werden traditionellerweise mit unterschiedlichen Einheiten gemessen. Letztlich geht es bei allen um Energie, deren Messung sich in einer einzigen Masseinheit ausdrücken lässt, dem Joule (J).

### Beispiel

Um 100 Gramm Butter um einen Meter in die Höhe zu heben, wird ungefähr benötigt:

$$mgh = 0,1 \text{ kg} \cdot 10 \text{ ms}^{-2} \cdot 1 \text{ m} = 1 \text{ Joule.}$$

**Leistung** bedeutet so viel wie Energiedurchsatz; sie hat die Masseinheit einer bestimmten Energiemenge pro Zeiteinheit. Leistung wird deshalb in Joules pro Sekunde gemessen; diese Masseinheit wird Watt genannt.

Der **Energiefluss** sagt aus, wie viel Energie pro Zeiteinheit über eine rechtwinklig zum Energiefluss stehende Flächeneinheit fliesst. Der Energiefluss wird in Joules/s·m<sup>2</sup> oder in Watt/m<sup>2</sup> ausgedrückt.

### Energie-Grössenordnungen in Joules [J]

10<sup>32</sup> J Von der Sonne pro Tag abgegebene Energiemenge

10<sup>28</sup> J

10<sup>24</sup> J Von der Erde pro Tag empfangene Energiemenge

10<sup>20</sup> J Mittlere tägliche Energiemenge, die durch Fotosynthese umgesetzt wird (gesamte Erde)

10<sup>16</sup> J Von Menschen pro Tag verbrauchte Energie (gesamte Erde)

10<sup>12</sup> J Von einem grossen Kernkraftwerk pro Tag produzierte elektrische Energie (Spaltungsenergie von 1 kg U<sup>235</sup>)

10<sup>8</sup> J Mittlerer täglicher Energieverbrauch pro Einwohner in der Schweiz (Verbrennungsenergie von 1 l Erdöl = 3,6 · 10<sup>7</sup>)

10<sup>4</sup> J

10<sup>0</sup> J Die von einem Gramm Wasser, das sich um ein Grad erwärmt, aufgenommene Energiemenge

10<sup>-4</sup> J

10<sup>-8</sup> J

10<sup>-12</sup> J Die bei der Spaltung eines Uran<sup>235</sup>-Kerns freiwerdende Energie

10<sup>-16</sup> J

10<sup>-20</sup> J Verbrennungsenergie eines Kohlenstoffatoms

**Weitere Informationen** siehe Grundlehrmittel

«Energie – Schlüsselgrösse unserer Zeit»

(Bezug gemäss Kapitel 6):

- Schülerheft, Kapitel «gemeinsame Sprache», Seite 10ff.
- Handbuch für Lehrkräfte «Hintergrundinformation 2, technisch-naturwissenschaftliche Zusammenhänge», Seite 43ff.



## 4.3 Energiequellen

### Die Eigenschaften einer Energiequelle

#### Konzentration

Darunter wird Energie pro Volumeneinheit oder Masse verstanden. Die Konzentration von Strahlungsenergie wird am Energiefluss gemessen.

Beispiel: Joules/kg, Joules/m<sup>3</sup>, W/m<sup>2</sup>

Alle Faktoren sind im Übrigen gleichwertig; je höher die Konzentration, desto besser die Energiequelle: Gewinnung, Transport, Lagerung und Handling sind einfacher und wirtschaftlich interessanter.

Quelle	Energie/Volumen MJ/m <sup>3</sup>	Energie/Masse MJ/kg	Charakt. Temp. K
Kohle	36'000	27,4	10 <sup>4</sup>
Erdöl	38'500	43,2	10 <sup>4</sup>
Erdgas	39,6	54	10 <sup>4</sup>
Uran 235	15,8 · 10 <sup>11</sup>	8,3 · 10 <sup>7</sup>	10 <sup>11</sup>
Deuterium	4,3 · 10 <sup>7</sup>	24,1 · 10 <sup>7</sup>	10 <sup>7</sup>
Erdwärme (Mittel)			300
Erdwärme (Maximum)			500
Sonnenenergie			1'000–6'000
Hydraulische Energie; Höhenunterschied 367 m	3,6	0,0036	



### Energiequalität

Theoretisch lässt sich jede Energieform in eine andere umwandeln. Allerdings sind nicht alle diese Umwandlungen gleich effizient, was mit der Natur der Energie zusammenhängt. Den verschiedenen Energieformen lassen sich Eigenschaften zuweisen, die deren Eignung zur Umwandlung in andere Energieformen zum Ausdruck bringen. Elektrische und mechanische Energie beispielsweise haben eine sehr hohe Qualität, weil sich beide sehr effizient in andere Energieformen, wie Strahlung oder thermische Energie, umwandeln lassen. Thermische Energie von niedriger Temperatur, wie die Umgebungswärme, ist dagegen von äusserst niedriger Qualität; sie lässt sich praktisch nicht in eine andere Energieform umwandeln.

**Bei jeder Energieumwandlung wird ein Teil der Energie in Wärme umgewandelt, beispielsweise durch Reibung. Grundsätzlich ist diese Wärme nicht erwünscht und stellt deshalb einen Verlust dar.**

Die direkte Umwandlung von Energie hoher Qualität in eine Form minderer Qualität bedeutet einen Qualitäts- oder «Wertigkeits-» Verlust. Deshalb sollte Energie immer so eingesetzt werden, dass sich ihre Qualität so gut wie möglich nutzen lässt.

**Elektroheizungen** stehen für eine Kette von Energieumwandlungen, bei welchen die Energiequalität schlecht genutzt wird, besonders wenn der eingesetzte Strom aus thermischen Kraftwerken stammt:

Fossile Energieträger, beispielsweise Heizöl, erzeugen hohe Temperaturen, die mittels Wasserdampf in einer Turbine in mechanische Energie umgewandelt werden. Im Generator, der von der Turbine angetrieben wird, entsteht elektrische Energie, die schliesslich im Radiator wieder in Wärme von niedriger Temperatur umgewandelt wird. Solche Energieumwandlungsketten haben häufig einen Wirkungsgrad von weniger als 30 Prozent.

Im Kontrast dazu steht die **Kombination einer Wärme-Kraft-Koppelung und einer Wärmepumpe**, die bis zu 150 Prozent Wärme aus 100 Prozent in Heizöl oder Erdgas vorhandener chemischer Energie zu erzeugen vermag. Dafür wird die Umgebungswärme (niedrige Energiequalität) über die mechanische Energie der Wärmepumpe in nutzbare Wärme für die Heizung umgewandelt.

Siehe auch Kapitel 4.5, Energieverlust und Wirkungsgrad sowie die Module 3, Wärmepumpen, und 4, Thermische Maschinen.



## Erneuerbare und nicht erneuerbare Energiequellen

### **Erneuerbare Energiequellen**

Hierbei handelt es sich um Quellen, die nicht versiegen, die ständig Energie bereitstellen. Diese Quellen werden von den Kernfusionsprozessen der Sonne, von der Gravitation (Gezeiten) und von der Radioaktivität im Innern der Erde (Erdwärme) erneuert. Bei der Nutzung solcher Quellen wird die Energie natürlichen Zyklen entzogen.

### **Nicht erneuerbare Energiequellen**

Man kann auch von gespeicherten Energiequellen sprechen. Im Vergleich zur Geschwindigkeit, mit welcher diese Quellen ausgeschöpft werden, erneuern sie sich praktisch nicht. Ein typisches Beispiel dafür sind die fossilen Brennstoffe, deren Erneuerung ausserordentlich viel Zeit beansprucht. Ein anderes typisches Beispiel sind die Kernbrennstoffe, die sich überhaupt nicht erneuern.

### **Nicht erneuerbare, aber beinahe unbeschränkte Energiequellen**

Zu dieser Kategorie gehören Deuterium und Lithium, beides Energiequellen für die Kernfusion. Auf 6500 leichte Wasserstoffatome fällt ein schweres Wasserstoffatom (Deuterium). Mit den Weltmeeren steht deshalb eine praktisch unerschöpfliche Energiequelle zur Verfügung. Zur Zeit lässt sich jedoch nicht behaupten, dass es gelingen wird, alle mit der kontrollierten Kernfusion in Zusammenhang stehende Probleme zu meistern.

<b>Energievorräte an fossilen Brennstoffen und ihre Reichweite beim heutigen Verbrauch weltweit</b>	
Brennstoff	Reichweite der gesicherten Vorräte
Kohle	≈ 240 Jahre
Erdgas	≈ 70 Jahre
Erdölprodukte	≈ 40 Jahre



## 4.4 Energieumwandlung

Von der Energiequelle zum Verbraucher durchläuft die Energie in der Regel mehrere Umwandlungsprozesse. Es gelten die folgenden Definitionen:

### **Primärenergie:**

Energiequelle vor jeder Umwandlung.

### **Nutzenergie:**

Die dem Konsumenten zur Verfügung stehende Energie nach ihrer letzten Umwandlung. Nutzenergie wird über eine oder mehrere Umwandlungen aus Primärenergie erzeugt.

### **Sekundärenergie:**

Zwischenstufe. Aus der Umwandlung von Primärenergie (oder auch Sekundärenergie) erzeugte Energie, die in Nutzenergie umgewandelt wird.

### **Endenergie:**

Die üblicherweise vom Verbraucher (Individuum, Industrie, Verwaltung) bezahlte Energie, beispielsweise Gas, Benzin, Fernwärme, ...

In Anwendung des ersten Hauptsatzes der Thermodynamik formulieren wir:

**Nutzenergie = Primärenergie – Verluste**

Unter Verlusten werden statistisch neben den Umwandlungsverlusten auch die Transportverluste und der Eigenverbrauch des Energiesektors verstanden. Gemäss den Statistiken der Industrieländer stellt die Summe aller Verluste mehr als die Hälfte der verbrauchten Primärenergie dar, woraus sich ein **Gesamtwirkungsgrad** der Umwandlung von Primärenergie in Nutzenergie **von unter 50 Prozent** ergibt.



**Die verschiedenen Phasen der Energieumwandlung**

<b>Ausgebeutete Energie:</b> Erdöl, Erdgas, Kohle, Uran, fließendes Wasser, Biomasse, Sonneneinstrahlung, Wind usw.	<b>Primärenergie</b> 	Verbraucher, Verluste
	Lagerung, Transport, Umwandlung	Umwandlungs- und Transportverluste, Eigenverbrauch
<b>Produzierte Energie:</b> Heizöl, Benzin, Diesel, Flüssiggas, Strom, Fernwärme usw.	<b>Sekundärenergie</b> 	Rohstoffe für die chemische Industrie
	Lagerung, Transport, Verteilung	Umwandlungs- und Transportverluste, Eigenverbrauch
Vom Verbraucher <b>gekauft</b> Energie.	<b>Endenergie</b>	Haushalte, Unternehmungen, Verwaltungen
	Lagerung, Umwandlung, Verteilung	Umwandlungs- und Transportverluste, Eigenverbrauch
Dem Verbraucher zur eigenen Umwandlung in Nutzenergie <b>zur Verfügung gestellte Energie</b> , beispielsweise Strom für einen Elektromotor.	<b>Eingesetzte Energie</b> 	
	Umwandlung/Nutzung der Energie	Umwandlungsverluste
<b>vom Verbraucher nutzbar gemachte Energie:</b> Wärme, Kraft, Licht usw.	<b>Nutzenergie</b> (verschiedene Formen) 	
	Verwendung der Nutzenergie im weiten Sinne 	Je nach Randbedingungen wird mehr oder weniger Energie zur Erfüllung der Energiedienstleistung benötigt.
Eigentliche <b>Energiedienstleistungen</b> sind z.B. eine warme (oder jederzeit angenehm temperierte) Stube, ein heller Arbeitsplatz, ein Transport von A nach B, saubere Wäsche, usw.	<b>Energiedienstleistung</b> (verschiedene Arten)  Befriedigtes Bedürfnis	

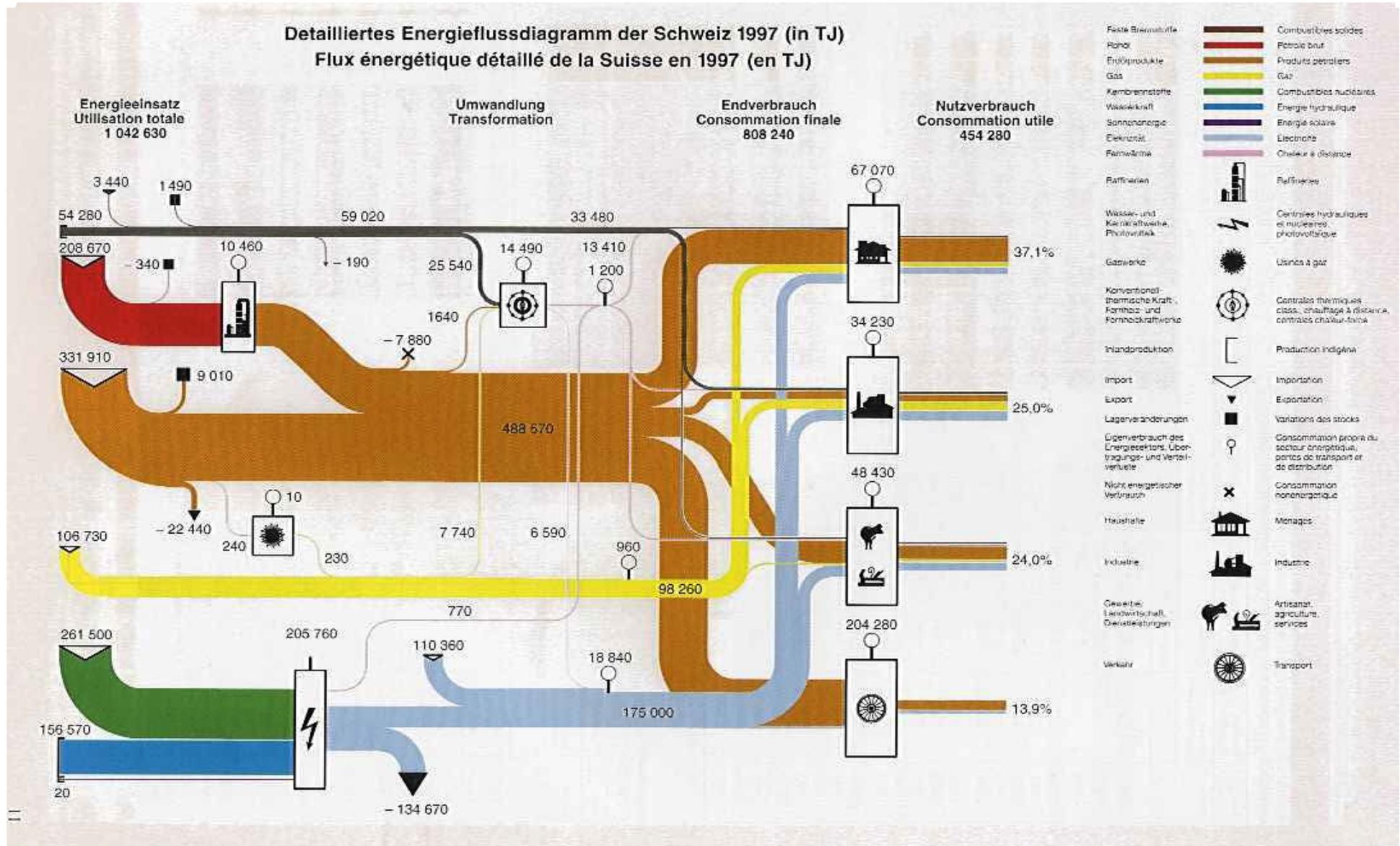


Abb. 10: Energieflussdiagramm für die Schweiz



## 4.5 Energieverlust und Wirkungsgrad

Wird eine Energieform in eine andere umgewandelt, entstehen immer Verluste.

### Energieverlust

$$EV = E_1 - E_2$$

EV: Energieverlust

E1: eingesetzte Energie

E2: Nutzenergie

Um die Verluste richtig abschätzen zu können, muss die Menge der eingesetzten Energie und die Menge Nutzenergie in derselben Einheit gemessen werden.

### Beispiel Boiler

Ein Boiler mit einer Leistung von 1,4 kW erwärmt 100 l Wasser in sechs Stunden von 20 °C auf 78 °C. Berechnen Sie den Energieverlust.

Eingesetzte Energie:

$$E_1 = P \cdot t = 1400 \text{ W} \cdot (6 \cdot 3600 \text{ s}) = 30,2 \text{ MJ}$$

Nutzenergie:

$$E_2 = m \cdot c \cdot \Delta T = 100 \text{ l} \cdot 4187 \cdot 58 \text{ K} (78^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) = 24,3 \text{ MJ}$$

Energieverlust:

$$E_1 - E_2 = 30,2 \text{ MJ} - 24,3 \text{ MJ} = 5,9 \text{ MJ}$$

### Wirkungsgrad

$$\eta_G = P_1 / P_2 [\%]$$

$\eta$ : Wirkungsgrad

P1: abgegebene Nutzleistung

P2: aufgenommene Leistung

$$\eta_G = \eta_A \cdot \eta_B \cdot \eta_C [\%]$$

$\eta_G$ : Wirkungsgrad des Gesamtsystems

$\eta_A, \eta_B, \eta_C, \dots$ : Wirkungsgrade der Teilsysteme

Der Nutzungsgrad ist der mittlere Wirkungsgrad über eine längere Zeit, beispielsweise ein Jahr.

### Beispiel Transformator

- jährlich aufgenommene Energie	100 MWh
- jährlich abgegebene Energie	90 MWh
- Nutzungsgrad	90/100 = 90 %
zum Vergleich: Wirkungsgrad bei Nominalbelastung	98 %



### Weiteres Beispiel

Vergleich zwischen Gasheizkessel und Wärme-Kraft-Koppelungsanlagen (siehe auch Kapitel 4.3)

Anlagen	Jährlicher Gesamtwirkungsgrad (Nutzungsgrad)	
	nicht gewichtet	gewichtet*
Konventioneller Gasheizkessel ohne Rauchgaskondensation	0,85 ... 0,92	0,9
Konventioneller Gasheizkessel mit Rauchgaskondensation	0,92 ... 1,02	1,0
WKK mit Gasturbine – thermisch 0,50...0,60 – elektrisch 0,20...0,30	0,75 ... 0,85	1,3
WKK mit Gasmotor – thermisch 0,54...0,58 – elektrisch 0,30...0,34	0,85 ... 0,92	1,5
WKK mit Gasmotor und Wärmepumpe zur Rückgewinnung der Abstrahlungsverluste und Rauchgaskondensation – thermisch 0,68...0,73 – elektrisch 0,25...0,30	0,95 ... 1,00	1,5
WKK kombiniert mit WP – thermisch 0,35...0,45 – elektrisch 0,40...0,50	0,80 ... 0,85	1,75

\* Der gewichtete jährliche Nutzungsgrad gilt für eine Anlage, bei welcher der produzierte Strom ausschliesslich zum Betrieb einer Wärmepumpe benutzt wird, deren jährliche Arbeitszahl 3,0 beträgt. Diese Kennziffer zeigt klar auf, dass eine

Wärme-Kraft-Koppelungsanlage, beispielsweise mit einem Gasmotor, die zur Verfügung stehende Energie eineinhalb mal so gut ausnützt als der modernste Heizkessel.



## 4.6 Transport und Lagerung

### Elektrizitätsversorgung

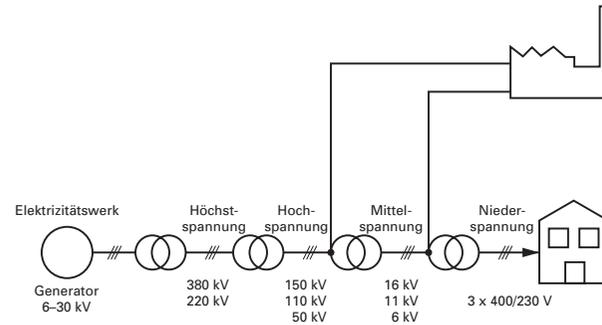


Abb. 11: Stromversorgungsnetz

Der Transport von Elektrizität von verschiedenen hoher Spannung und mit verschiedenen Transportkapazitäten lässt sich mit einem Strassennetz vergleichen. Die Hochspannungsleitungen entsprechen den Autobahnen für den Fernverkehr; die Leitungen für hohe, mittlere und niedere Spannung, die daran anschliessen, entsprechen den Haupt- und Nebenstrassen, die dem Regionalverkehr und der Feinverteilung dienen.

Die Schweiz ist ins europäische Verbundnetz integriert. Als Wasserschloss mitten in Europa spielt sie eine wichtige Rolle als Drehscheibe.

### Erdgas

Erdgas wird in der Regel gasförmig transportiert, mit höherem Druck für den Ferntransport. Ist der Transport mittels Ferngasleitungen zu schwierig oder zu teuer, wird das Gas durch Abkühlung auf  $-161\text{ °C}$  verflüssigt. Die grössten Zisternenschiffe fassen ungefähr  $125'000\text{ m}^3$  verflüssigtes Erdgas (liquified natural gas: LNG). 1991 erfolgte 24% des Erdgaswelthandels mit LNG.

Erdgas wird entweder in flüssiger Form in gut isolierten Tanks (aufwändig) oder in geeigneten Gesteinsformationen gelagert (Salzschichten, erschöpfte Erdgas- oder Erdölquellen, geschlossene Minen usw.). Für die Kurzzeit-Speicherung (Stunden/Tage) werden Druckspeicher in Form von Rohren oder Kugeltanks eingesetzt.



Abb. 12: Tanklager für Erdgas



## Erdöl

Beim Erdöl ist zu unterscheiden zwischen Rohöl und Erdölderivaten. Raffinerien und Grosstankanlagen bestimmen die Transportwege.

Für den Import in die Schweiz gelten folgende Zahlen:

- Rohölimport
  - 100 % über Rohölleitungen
- Import von Erdölderivaten
  - 47 % auf dem Rhein,
  - 26 % auf der Schiene,
  - 15 % via Ölleitung und
  - 12% auf der Strasse

In der Schweiz teilen sich Strasse und Schiene in die Transporte. Erdöltankwagen der Eisenbahn sind schwarz, solche für LPG (liquified petroleum gases: Propan/Butan) sind weiss gestrichen mit orangefarbener Linie.

Schweröl muss zum Pumpen und zur Verbrennung vorgeheizt werden:

- Pumpen > 80 °C
- Verbrennung < 130 °C

Heizöl extra-leicht unterliegt einem Veränderungsprozess. Nach einigen Jahren ist die notwendige Qualität nicht mehr garantiert. Bei im Freien aufgestellten Ölzisternen ist zu beachten, dass sich das Öl vom Paraffin trennen kann, sobald die Temperatur unter 5 °C sinkt.

Die technischen Vorschriften für Anlagen zur Lagerung und zur Umfüllung von Flüssigkeiten (technische Vorschriften für Tankanlagen, TTV, vom 21. Juni 1990) sowie die Vorschriften der kantonalen Brandversicherungen sind einzuhalten.

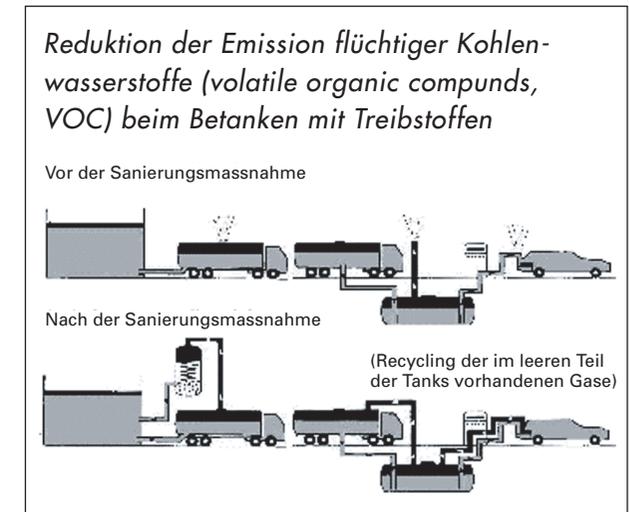


Fig. 13: Treibstoff-Umschlag

Vor der Sanierung entweichen bei jedem Umschlag umweltschädigende Gase in die Luft.

## 4.7 Graue Energie

Graue Energie ist diejenige versteckte Energie, die wir tagtäglich mit unseren Einkäufen konsumieren. Es handelt sich um die zur Fabrikation eingesetzte Energie und um die Energie, welche die mit Produktion und Vertrieb verbundene Dienstleistungen verbrauchen. Auch die zur Verwertung der nutzlos gewordenen Produkte (Abfälle) benötigte Energie ist nochmals graue Energie.

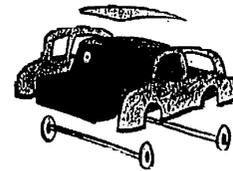
### Achtung: graue Energie

«Grau» wird sie deshalb genannt, weil sie keine Beachtung findet. Dennoch steckt überall welche drin! Wo?

#### In den Rohstoffen



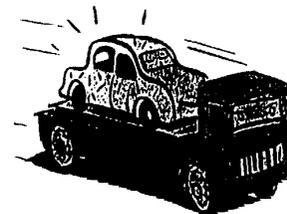
#### In der Produktion



#### In der Verpackung und in der Lagerung (Material, Lager, Konservierung)

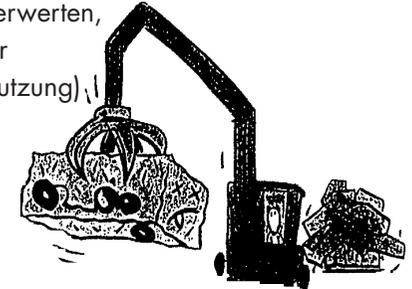


#### Im Transport (Fahrzeuge, Treibstoff, Kühlung)



#### In der Abfallverwertung

(Einsammeln, Verwerten,  
Bekämpfung der  
Umweltverschmutzung)



#### Kettenreaktion

Auf der einen Seite liegt der bekannte Verbrauch, gemessen in Litern, Kilowattstunden, Kubikmetern. Andererseits der versteckte; klassische Beispiel dafür ist der Aufwand für die Kühlkette in einem Tiefkühlprodukt.

Ob es sich nun um ein Motorrad, einen Computer, einen Make-up-Remover oder ein Blatt Papier handelt – auch das kleinste Ding hat seine Dosis grauer Energie in sich. Und für die Verwertung oder das Recycling braucht's gleich noch einmal Energie.

Aufgrund des zunehmenden Bewusstseins dieser Zusammenhänge wächst der Druck auf Fahrzeug- und andere Hersteller, immer dauerhaftere, zuverlässigere und besser wiederverwertbare Produkte auf den Markt zu bringen.

Abb. 14: Graue Energie



Um die **Energieeffizienz** verschiedener Produkte miteinander vergleichen zu können, müsste nicht nur deren Energieverbrauch während der Nutzung, sondern auch die graue Energie in Franken pro Verkaufspreis transparent gemacht werden. Die bei einem 20'000 Franken teuren Personenwagen anfallende graue Energie beträgt rund 44'000 kWh, das heisst, so viel wie der mittlere Stromverbrauch eines Haushalts während zehn Jahren!

Da ein einzelnes Produkt aus zahlreichen Materialien besteht und zu dessen Herstellung verschiedene Dienstleistungen beansprucht werden mussten, ist die Berechnung der grauen Energie nicht gerade einfach. Wissenschaftliche Studien schätzen übereinstimmend, dass in allen Konsumgütern des täglichen Gebrauchs mindestens 1,2 kWh/Fr. an grauer Energie stecken. Darin eingeschlossen ist nicht nur der Stromanteil, sondern die gesamte graue Energie.

Die Berechnung der grauen Energie ist dann besonders interessant, wenn man beabsichtigt, ein altes Gerät durch eine neues, energiesparenderes Gerät zu ersetzen. Für einen neuen Kühlschrank im Wert von Fr. 800.– lässt sich folgende Energiebilanz aufstellen:

- Graue Energie (Fr. 800.– x 1,2 kWh/Fr.)  
→ 1000 kWh
- Energieverbrauch des alten Geräts  
→ 1,8 kWh/Tag

- Energieverbrauch des neuen Geräts  
→ 1,2 kWh/Tag
- Energieeinsparung  
→ 0,6 kWh/Tag
- Zeitdauer bis zur Amortisation der verbrauchten grauen Energie beim Kauf des neuen Geräts  
(1000/0,6 = 1666 Tage)  
→ 4,5 Jahre

In der Regel kann man davon ausgehen, dass eine finanziell rentable Energieeinsparungsmassnahme auch vom Gesichtspunkt der rationellen Energieanwendung her rentabel ist.

#### **Graue Energie in Produkten und Dienstleistungen verschiedener Wirtschaftszweige in kWh pro Franken Verkaufspreis**

Landwirtschaft	1,7 kWh/Fr.
Eisen und Stahl	10,8 kWh/Fr.
Aluminium	15,0 kWh/Fr.
Zement	5,6 kWh/Fr.
Maschinen	1,6 kWh/Fr.
Fahrzeuge	2,2 kWh/Fr.
Nahrungsmittel	1,7 kWh/Fr.
Textilien	1,9 kWh/Fr.
Papier	5,6 kWh/Fr.
Druck	1,9 kWh/Fr.
Gummi	2,5 kWh/Fr.
Tiefbau	1,9 kWh/Fr.
Handel	1,1 kWh/Fr.
Dienstleistungen	0,6 kWh/Fr.



## 5 Aufgaben, Lösungsvorschläge

### Lernauftrag 1: Arbeit

Bestimmen Sie die Arbeit, die ein Lehrling vollbringt, wenn er seine 11,5 kg schwere Werkzeugkiste auf 0,5 Meter hinaufhebt.

### Lösung:

Schwerkraft

$$G = m \cdot g = 11,5 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ ms}^{-2} = 113 \text{ N}$$

Arbeit

$$E = G \cdot s = 113 \text{ N} \times 0,5 \text{ m} = 56,5 \text{ J}$$

### Lernauftrag 2: Leistung

Eine Maschine hebt 110 kg in 3 Minuten und 20 Sekunden auf eine Höhe von 15 m. Berechnen Sie die Leistung der Maschine.

### Lösung:

Schwerkraft

$$G = m \cdot g = 110 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ ms}^{-2} = 1'079 \text{ N}$$

Arbeit

$$W = G \cdot s = 1079 \text{ N} \cdot 15 \text{ m} = 16'185 \text{ J}$$

Leistung

$$P = W / t = 16'185 \text{ J} / 200 \text{ s} = 81 \text{ W}$$

### Lernauftrag 3: Mittlere Leistung (Stromzähler)

An einem Stromzähler wird nach 5 Stunden und 15 Minuten ein Elektrizitätsverbrauch von 19 kWh abgelesen. Welche mittlere Leistung nimmt der Verbraucher auf?

### Lösung:

Zeit

$$t = 5 \text{ h } 15 = 5,25 \text{ h}$$

Leistung

$$P = W / t = 19 \text{ kWh} / 5,25 \text{ h} = 3,62 \text{ kW}$$

### Lernauftrag 4: Wirkungsgrad (Maschine)

Berechnen Sie den Gesamtwirkungsgrad einer Maschine bestehend aus Generator ( $\eta = 0,92$ ), Transformator ( $\eta = 0,99$ ) und Motor ( $\eta = 0,88$ ).

### Lösung:

Gesamtwirkungsgrad

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 = 0,92 \cdot 0,99 \cdot 0,88 = 0,8 = 80\%$$

### Lernauftrag 5: Wassererwärmung

2 Liter Wasser sollen von 20 °C auf 90 °C erwärmt werden. Welche Menge Nutzwärme nimmt das Wasser dabei auf?

### Lösung:

Menge der Nutzwärme

$$Q_2 = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$= 2 \text{ kg} \cdot 4'187 \text{ J/kg} \cdot (90 \text{ °C} - 20 \text{ °C}) = 586 \text{ kJ}$$



## 6 Weiterführende Literatur

- UVEK, Eidg. Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Programm Energie 2000, Programm Energie Schweiz, diverse Auswertungen und Jahresberichte; Bezug: EDMZ, 3000 Bern
- LITRA, Verkehrszahlen 2000, Informationsdienst für den öffentlichen Verkehr, 3000 Bern
- BFE, Bundesamt für Energie, Graue Energie, 1993, Bezug: BFE, 3003 Bern
- BAG/BUWAL, Umweltbericht Schweiz, 1997, Bezug: Dokumentationsdienst BUWAL, 3003 Bern
- BFE, Schweizerische Gesamtenergiestatistik (erscheint jährlich), Bezug: BFE, 3003 Bern
- INFEL, Informationsstelle für Elektrizitätsanwendung, Lehrer-Bulletins zum Thema Elektrizität, div. Schwerpunkte, erscheinen periodisch, Bezug: INFEL, Lagerstrasse 1, 8004 Zürich
- Maja Messmer, Walter Gille, Bernhard Liechti, Energie – Schlüsselgrösse unserer Zeit (Grundlehrmittel), Schülerband, Aarau 1997
- Walter Gille, Maja Messmer, Jürg Nipkow, Bernhard Liechti, Energie – Schlüsselgrösse unserer Zeit (Grundlehrmittel), Handbuch für Lehrkräfte, Aarau 1999  
Bezug beider Teile: Walter Gille, Zürichbergstrasse 46a, 8044 Zürich
- Physiklehrbücher



## 7 Bild- und Textnachweis

Für die französische Originalversion wurden folgende Quellen benutzt:

- Electrotechnique, 1ère partie, – Greme, FET
- L'énergie – facteur-clé de notre temps – LEP
- Physique, science expérimentale, énergie – chaleur – électricité – Greme, LEP
- Cours d'énergie, Ecole d'ingénieurs de Sion – Marcel Maurer
- Cours de physique, Ecole d'ingénieurs de Sion – Michel Bonvin
- Ravel-CD-ROM, Impuls Compact V3, Office fédéral des questions conjoncturales
- Statistique énergétique officielle de la Suisse – Office fédéral de l'énergie
- [www.swissolar.ch](http://www.swissolar.ch)
- [www.carnot.org](http://www.carnot.org)



## 8 Vorlagen

### 8.1 Formeln und Einheiten zum Rechnen mit Energie

#### 1) Energie und mechanische Kraft oder Arbeit

$$E = F \cdot s$$

$$E = G \cdot h \text{ (h = Höhe, senkrechte Strecke)}$$

$$P = E / t$$

$$E = \text{Arbeit in Joules [J]}$$

$$F = \text{Kraft in Newton [N]}$$

$$s = \text{zurückgelegte Strecke in Metern [m]}$$

$$G = \text{Schwerkraft in Newton [N]}$$

$$g = \text{Erdbeschleunigung (= 9,81 m/s}^2\text{)}$$

$$P = \text{Leistung in Watt [W]}$$

$$t = \text{Zeit in Sekunden [s]}$$

#### 2) Energie und elektrische Leistung

$$E = U \cdot I \cdot t$$

$$P = E / t$$

$$P = U \cdot I$$

$$P = U^2 / R$$

$$P = R \cdot I^2$$

$$E = \text{Energie in Joules [J]}$$

$$U = \text{Spannung in Volt [V]}$$

$$I = \text{Stromstärke in Ampere [A]}$$

$$t = \text{Zeit in Sekunden [s]}$$

$$P = \text{Leistung in Watt [W]}$$

$$R = \text{Widerstand in Ohm [}\Omega\text{]}$$

#### 3) Wirkungsgrad

$$\eta = P_2 / P_1$$

$$\eta = E_2 / E_1$$

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4$$

$$\eta = \text{Wirkungsgrad [-]}$$

$$P_2 = \text{abgegebene oder Nennleistung in Watt [W]}$$

$$P_1 = \text{aufgenommene Leistung in Watt [W]}$$

$$E_1 = \text{aufgenommene Energie in Joules [J]}$$

$$E_2 = \text{abgegebene Energie in Joules [J]}$$

#### 4) Wärmemenge

$$Q_1 = R \cdot I^2 \cdot t$$

$$Q_2 = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$Q_1 = \text{abgegebene Wärmemenge in Joules [J]}$$

$$R = \text{Widerstand in Ohm}$$

$$I = \text{Stromstärke in Ampere [A]}$$

$$t = \text{Zeit in Sekunden [s]}$$

$$Q_2 = \text{Wärmemenge in Joules [J]}$$

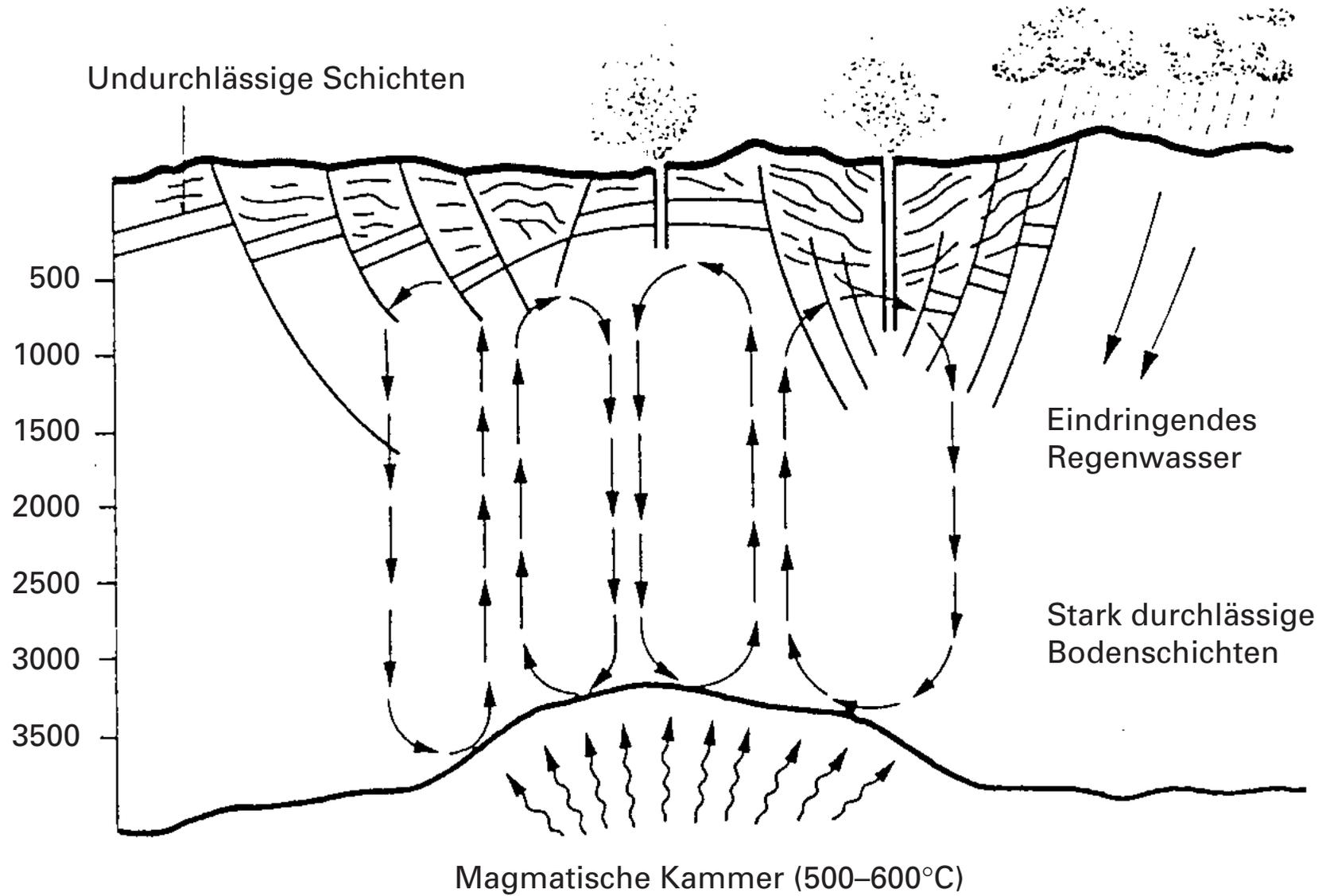
$$m = \text{Masse in Kilogramm [kg]}$$

$$c = \text{spezifische Wärmekapazität in Joules pro Kilogramm und (Grad) Kelvin}$$

$$\Delta T = \text{Temperaturunterschied in Kelvin [K]}$$



8.2 Abbildungen aus Kapitel 4

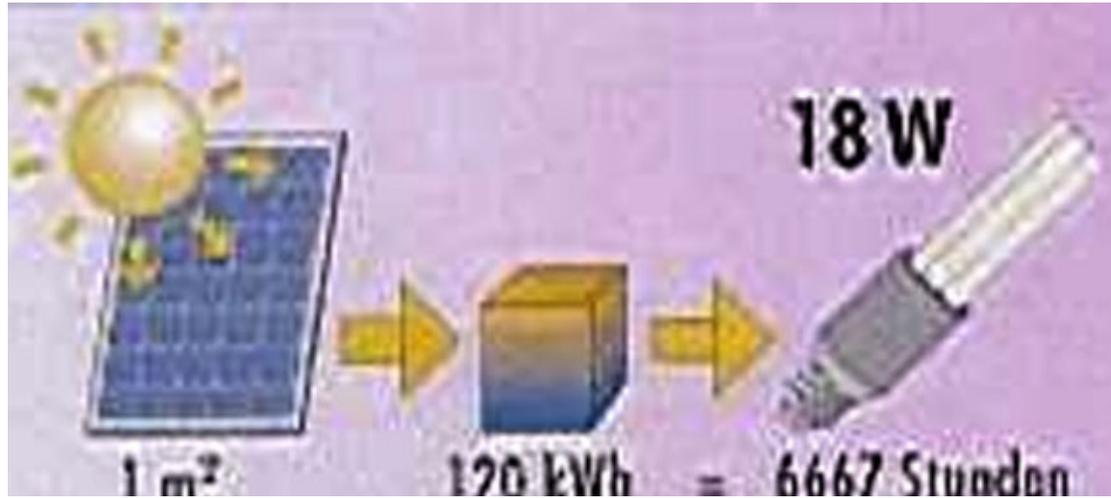


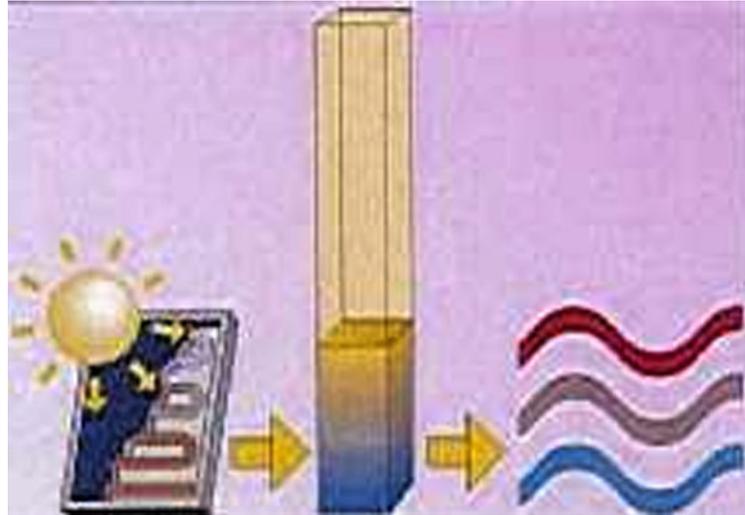














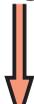
Quelle	Energie/Volumen MJ/m <sup>3</sup>	Energie/Masse MJ/kg	Charakt. Temp. K
Kohle	36'000	27,4	10 <sup>4</sup>
Erdöl	38'500	43,2	10 <sup>4</sup>
Erdgas	39,6	54	10 <sup>4</sup>
Uran 235	15,8 · 10 <sup>11</sup>	8,3 · 10 <sup>7</sup>	10 <sup>11</sup>
Deuterium	4,3 · 10 <sup>7</sup>	24,1 · 10 <sup>7</sup>	10 <sup>7</sup>
Erdwärme (Mittel)			300
Erdwärme (Maximum)			500
Sonnenenergie			1'000–6'000
Hydraulische Energie; Höhenunterschied 367 m	3,6	0,0036	



## **Energievorräte an fossilen Brennstoffen und ihre Reichweite beim heutigen Verbrauch weltweit**

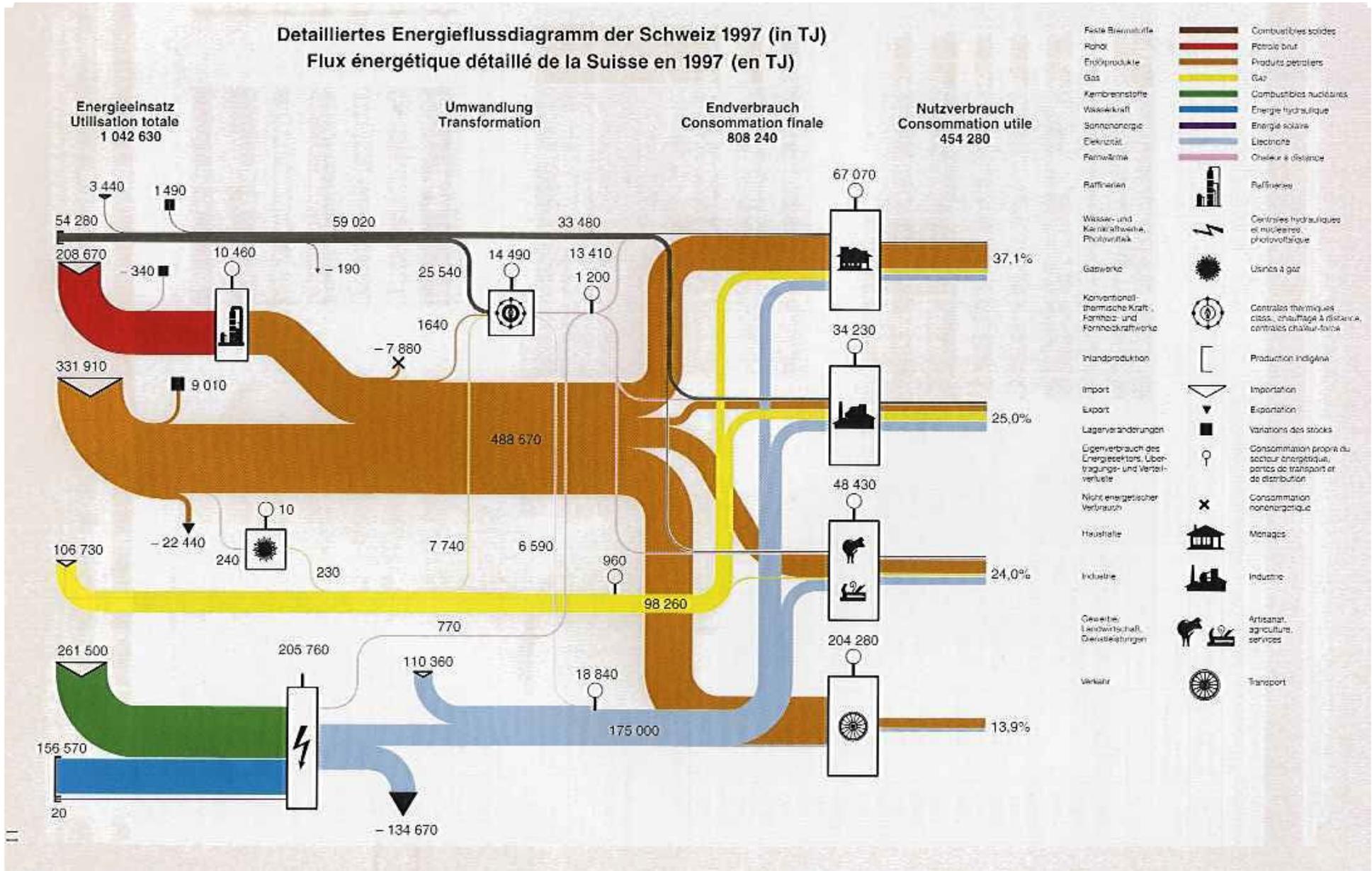
<b>Brennstoff</b>	<b>Reichweite der gesicherten Vorräte</b>
<b>Kohle</b>	<b>≈ 240 Jahre</b>
<b>Erdgas</b>	<b>≈ 70 Jahre</b>
<b>Erdölprodukte</b>	<b>≈ 40 Jahre</b>



<b>Ausgebeutete Energie:</b> Erdöl, Erdgas, Kohle, Uran, fließendes Wasser, Biomasse, Sonneneinstrahlung, Wind usw.	<b>Primärenergie</b> 	Verbraucher, Verluste
	Lagerung, Transport, Umwandlung	Umwandlungs- und Transportverluste, Eigenverbrauch
<b>Produzierte Energie:</b> Heizöl, Benzin, Diesel, Flüssiggas, Strom, Fernwärme usw.	<b>Sekundärenergie</b> 	Rohstoffe für die chemische Industrie
	Lagerung, Transport, Verteilung	Umwandlungs- und Transportverluste, Eigenverbrauch
Vom Verbraucher <b>gekauft</b> Energie.	<b>Endenergie</b>	Haushalte, Unternehmungen, Verwaltungen
	Lagerung, Umwandlung, Verteilung	Umwandlungs- und Transportverluste, Eigenverbrauch
Dem Verbraucher zur eigenen Umwandlung in Nutzenergie <b>zur Verfügung gestellte Energie</b> , beispielsweise Strom für einen Elektromotor.	<b>Eingesetzte Energie</b> 	
	Umwandlung/Nutzung der Energie	Umwandlungsverluste
<b>vom Verbraucher nutzbar gemachte Energie:</b> Wärme, Kraft, Licht usw.	<b>Nutzenergie</b> (verschiedene Formen) 	
	Verwendung der Nutzenergie im weiten Sinne 	Je nach Randbedingungen wird mehr oder weniger Energie zur Erfüllung der Energiedienstleistung benötigt.
Eigentliche <b>Energiedienstleistungen</b> sind z.B. eine warme (oder jederzeit angenehm temperierte) Stube, ein heller Arbeitsplatz, ein Transport von A nach B, saubere Wäsche, usw.	<b>Energiedienstleistung</b> (verschiedene Arten)  Befriedigtes Bedürfnis	

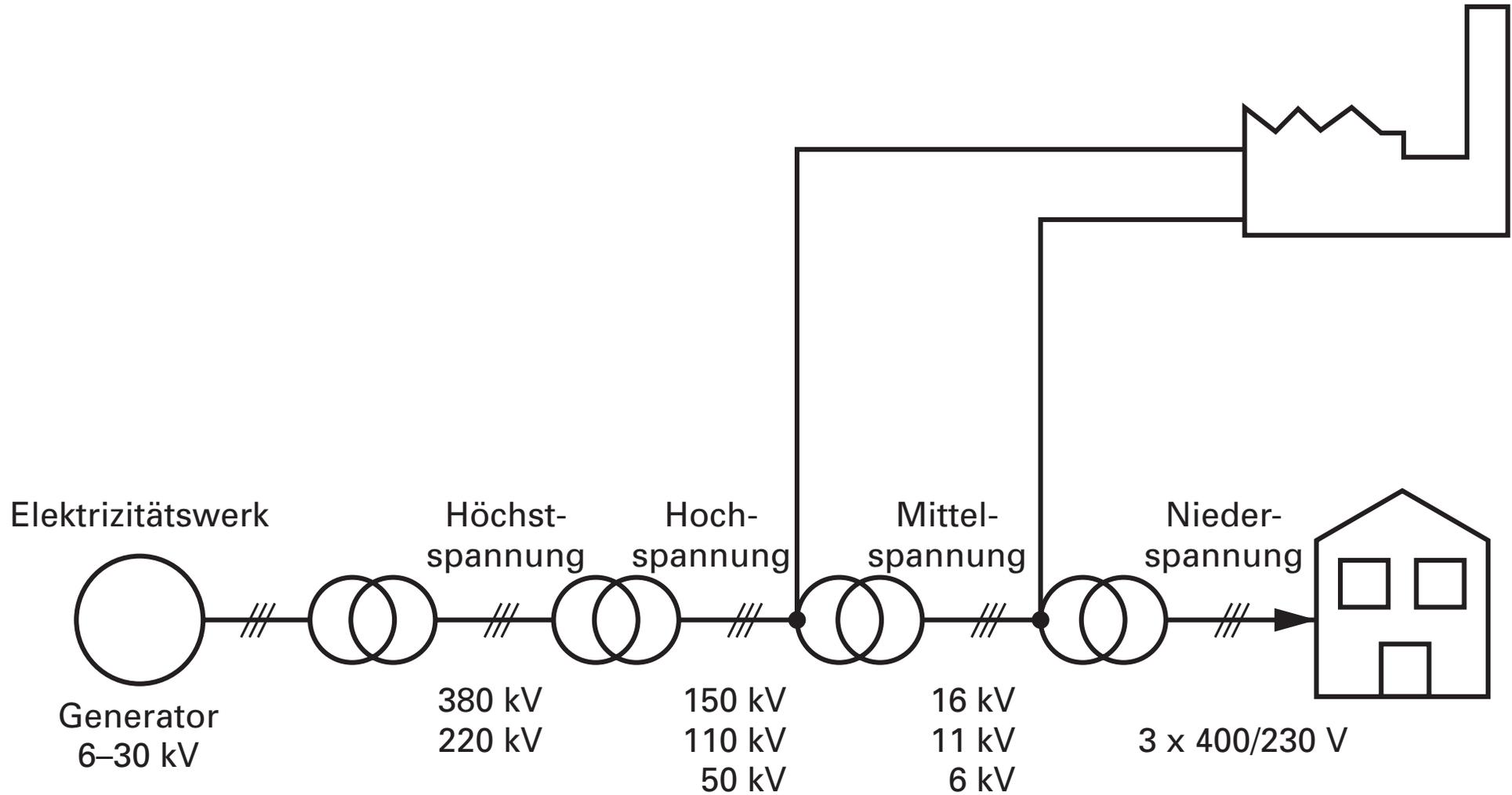


**Detailliertes Energieflussdiagramm der Schweiz 1997 (in TJ)**  
**Flux énergétique détaillé de la Suisse en 1997 (en TJ)**





Anlagen	Jährlicher Gesamtwirkungsgrad (Nutzungsgrad)	
	nicht gewichtet	gewichtet*
Konventioneller Gasheizkessel ohne Rauchgaskondensation	0,85 ... 0,92	0,9
Konventioneller Gasheizkessel mit Rauchgaskondensation	0,92 ... 1,02	1,0
WKK mit Gasturbine – thermisch 0,50...0,60 – elektrisch 0,20...0,30	0,75 ... 0,85	1,3
WKK mit Gasmotor – thermisch 0,54...0,58 – elektrisch 0,30...0,34	0,85 ... 0,92	1,5
WKK mit Gasmotor und Wärmepumpe zur Rückgewinnung der Abstrahlungsverluste und Rauchgaskondensation – thermisch 0,68...0,73 – elektrisch 0,25...0,30	0,95 ... 1,00	1,5
WKK kombiniert mit WP – thermisch 0,35...0,45 – elektrisch 0,40...0,50	0,80 ... 0,85	1,75





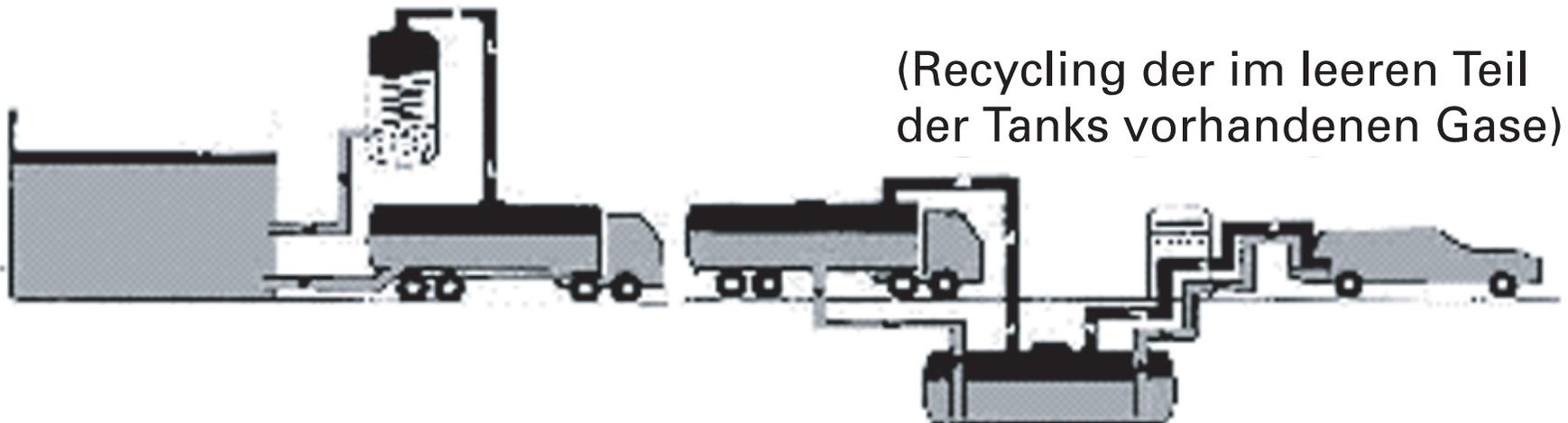


## Reduktion der Emission flüchtiger Kohlenwasserstoffe (volatile organic compounds, VOC) beim Betanken mit Treibstoffen

Vor der Sanierungsmaßnahme



Nach der Sanierungsmaßnahme





Landwirtschaft	1,7 kWh/Fr.
Eisen und Stahl	10,8 kWh/Fr.
Aluminium	15,0 kWh/Fr.
Zement	5,6 kWh/Fr.
Maschinen	1,6 kWh/Fr.
Fahrzeuge	2,2 kWh/Fr.
Nahrungsmittel	1,7 kWh/Fr.
Textilien	1,9 kWh/Fr.
Papier	5,6 kWh/Fr.
Druck	1,9 kWh/Fr.
Gummi	2,5 kWh/Fr.
Tiefbau	1,9 kWh/Fr.
Handel	1,1 kWh/Fr.
Dienstleistungen	0,6 kWh/Fr.