

Solarenergie

Jährlich durch die Sonne auf die Erde eingestrahlte Energie: rund $3,9 \cdot 10^{24}$ J bzw. $1,08 \cdot 10^{18}$ kWh.

	kWh·m ⁻² ·a ⁻¹	kW·m ⁻²
Leistung der Sonne pro Quadratmeter ausserhalb der Atmosphäre	12'000	1.367
Auftreffende Sonnenenergie bei max. Sonneneinstrahlung auf optimal ausgerichteter Fläche in Mitteleuropa (Wellenlängen von 0 bis 780 nm)		0.8 - 1.0 (0.56)
Pro Jahr eingestrahlte Sonnenenergie ¹	im Knonauer Amt: im Wallis bei Gibraltar	
	1'100 1'400 2'000	
Leistung pro Quadratmeter bei 14% Anlagewirkungsgrad (vgl. unten)	150 (Jahresertrag)	0.14 (Spitze)
Ungefährer Jahresertrag	Bioethanol aus Zuckerrohr Holz in einem Nutzwald	
	2.7 – 4 1	

Rückzahldauern und Wirkungsgrade

	Energetische Rückzahldauer Jahre ^{2, 3}	Modul-Wirkungsgrad *
Fotovoltaik, Hochleistungszellen		Käuflich: 21%; Weltrekord: 40%
Fotovoltaik, monokristalline Zellen	3 – 10	14-20 % (nach 20 Jahren: 11-18%)
Fotovoltaik, polykristalline Zellen	3 – 10	11-13 %
Fotovoltaik amorphe Zellen	2.5 – 7	5-10 % (sinkt schnell ⇨ senkt Erntefaktor)
Sonnenkollektor (thermisch)	1.5 – 5	30 - 45% (hängt von Speichervolumen ab)
Wasserkraft	0.4 – 6	
Windkraftanlage	0.5 – 2.5	

* Der **Anlage-Wirkungsgrad** beträgt bei guten Anlagen etwa 90% des Modul-Wirkungsgrades: Der Wirkungsgrad wird um ca. 10% erhöht durch Montage in optimaler Ausrichtung und um ca. 20% gesenkt durch Verluste in der Anlage.⁴

¹ <http://www.meteonorm.com/pages/de/downloads/karten.php?lang=DE>

² Hängt stark vom Standort ab; Thomas Nussbaumer, ETH Zürich, Energietechnik und Umwelt, Vorlesung 2006

³ Bankier and Gale: Energy Payback of Roof Mounted Photovoltaic Cells, Published Jun 16 2006 by [Energy Bulletin](#), Archived Jun 16 2006

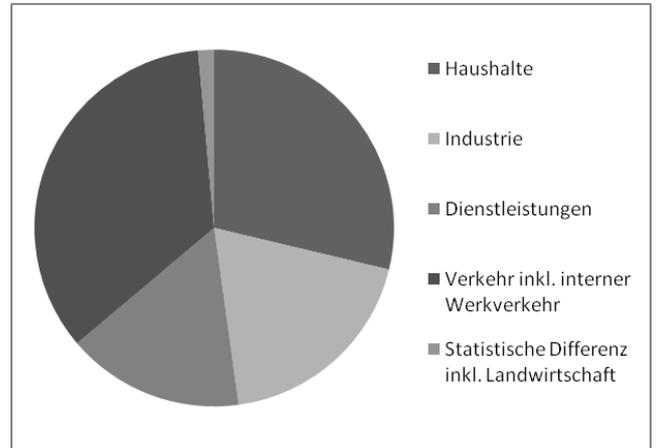
⁴ Quellen: Fraunhofer Institut Solare Energiesysteme, Quasching, Volker: Erneuerbare Energien und Klimaschutz, Hanser, 2008

Direkter Energieverbrauch in der Schweiz

Energieverbrauch der Schweiz 2009 (Wohnbevölkerung 7'799'000 Personen)⁵

Endverbrauch nach Verbrauchergruppen

	TJ/Schweiz	kWh/Kopf
Haushalte	252'280	8'985
Industrie	167'380	5'962
Dienstleistungen	140'270	4'996
Verkehr inkl. Werkverkehr	305'000	10'863
Differenz inkl. Landwirtschaft	12'630	450
Total	877'560	31'256



Endverbrauch in den Haushalten, nach Energieträgern aufgeschlüsselt

	TJ/Schweiz	kWh/Kopf
Erdölbrennstoffe	111'160	3'959
Elektrizität	64'510	2'298
Gas	42'660	1'519
Kohle	400	14
Energieholz	19'510	695
Fernwärme	5'970	213
Übrige Erneuerbare	8'070	287
Total	252'280	8'985

Zum Vergleich:

1990 wurden in den Schweizer Haushalten 47'570 TJ elektrische Energie verbraucht, also 1'694 kWh pro Kopf.

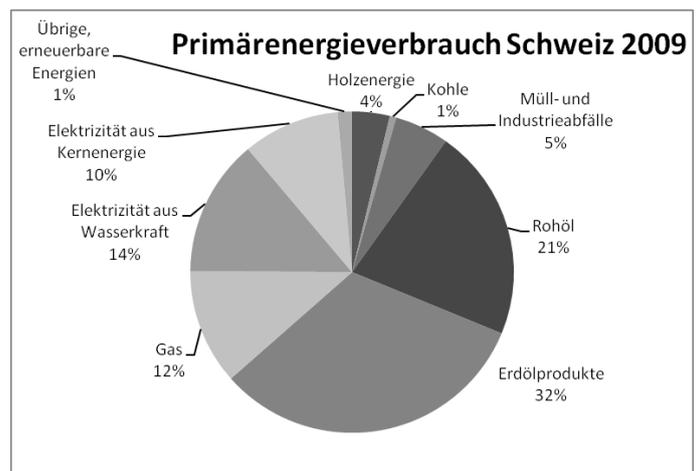
Import und Export elektrischer Energie 2009 Schweiz:

Import: 187'210 TJ (6'670 kWh/Kopf)

Export: 194'970 TJ (6'944 kWh/Kopf)

Primärenergieverbrauch der Schweiz 2009 ohne importierte graue Energie

	TJ/Schweiz	kWh/Kopf
Holzenergie	36'470	1'299
Kohle	6'290	224
Müll- und Industrieabfälle	52'680	1'876
Rohöl	207'640	7'396
Erdölprodukte	312'920	11'145
Gas	112'810	4'018
Wasserkraft	133'690	4'762
Kernbrennstoffe (1)	284'930	10'148
Übrige erneuerbare	13'930	496
Elektrizität Export Netto	-7'760	-276
Total (2)	1'153'600	41'088



(1) 2009 lieferten die KKW 94'030 TJ Elektrische Energie

(2) Nicht eingerechnet: Energieumwandlungs-Verluste, die im Ausland anfallen. Evtl. in Folgender Zahl für 2001 berücksichtigt: Primärenergieverbrauch 1205'000 TJ (Jochem: Weissbuch).

Zum Vergleich: Primärenergieverbrauch pro Jahr und Kopf in GJ (in Klammern: kWh):

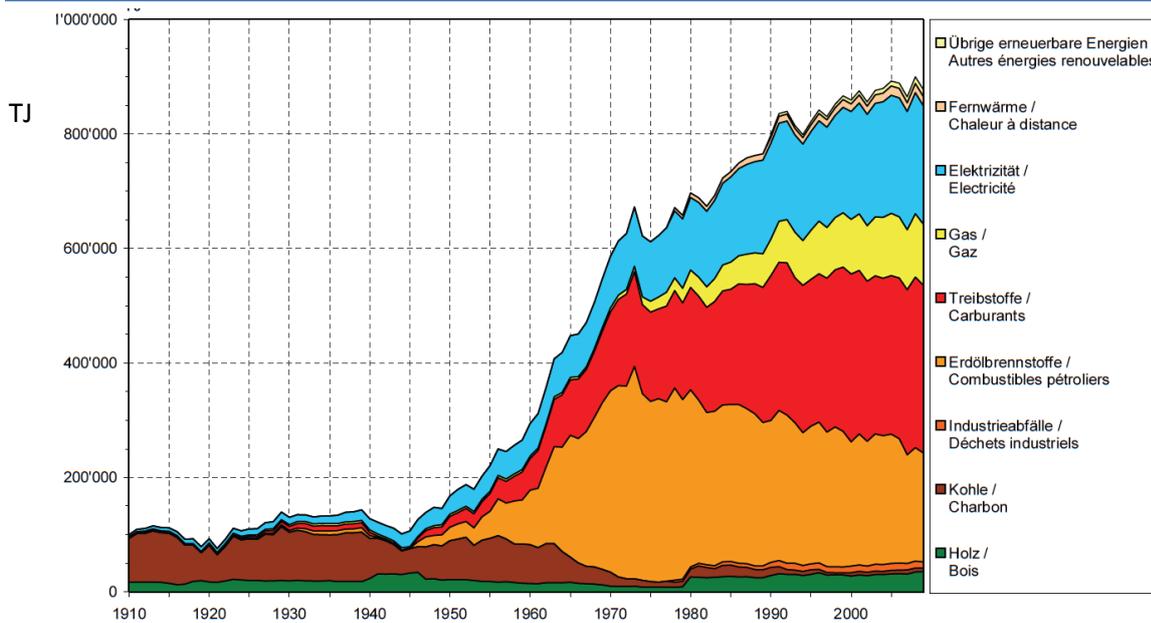
USA: 330 (92'000);

EU: 170 (46'000),

Welt: 70 (19'000)

⁵ Bundesamt für Energie BFE, Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2009

Endenergieverbrauch der Schweiz seit 1910



Gesamter Energieverbrauch der Schweizer

Im direkten Energieverbrauch nicht berücksichtigt sind indirekt importierte oder exportierte oder im Ausland konsumierte Energie (z.B. importierte Lebensmittel, Baumaterialien, Reisen,...). Beispiele:

Graue Energie in Kleidung und Schuhen einer Person, pro Jahr ⁶	13 GJ	= 3'600 kWh
Graue Energie für Herstellung eines PC ⁷	10 GJ	= 3'000 kWh
Graue Energie für Herstellung eines durchschnittlichen Autos ⁸	95 GJ	= 26'000 kWh
Graue Energie in Gebäuden pro Geschossfläche ⁹ :	1.5 - 5 GJ / m ²	= 416 - 1'400 kWh/m ²

Der gesamte Energieverbrauch der Schweizer kann nur ganz grob abgeschätzt werden:

Im Rahmen der Untersuchungen zur 2000 Watt-Gesellschaft an der ETH wurde der **gesamte durchschnittliche Primärenergieverbrauch der Schweizer Bevölkerung (pro Kopf und Jahr) inklusive Graue Energie**, etc abgeschätzt, wobei die für die Erzeugung landwirtschaftlicher Produkte nötige Sonnenenergie oder passiv genutzte Sonnenwärme, etc. nicht berücksichtigt sind¹⁰.

	kWh Kopf ⁻¹ a ⁻¹	kWh Kopf ⁻¹ a ⁻¹
Heizen	7'647	} 15'224
Wohnen	7'577	
Ernährung*	10'032	} 14'550
Privatfahrzeuge	11'872	
Öffentlicher Verkehr	1'461	
Flugreisen	1'217	
Diverser Konsum	11'756	} 15'375
Öffentlicher Konsum	3'619	
Total	55'181	= 199'000 MJ Kopf⁻¹ a⁻¹ = 6400 W Kopf⁻¹

⁶ <http://www.myclimate.org/wissen-klimatipps/facts-zum-klimawandel/co2-verursacher-konsum.html>

⁷ Wikipedia

⁸ Umweltdatenbank Ecoinvent/ Hänggi, M: Ausgewertet, Rotpunktverlag, 2011, S. 339.

⁹ Bei einer Lebensdauer von 30 Jahren in der gleichen Grössenordnung wie die Betriebsenergie von energieeffizienten Bauten (50-150 MJ m⁻² a⁻¹). <http://www.umweltchemie.ch/pdfs/Graue%20Energie%20im%20Fokus.pdf>

¹⁰ Novatlantis, 2000 Watt-Gesellschaft: <http://www.novatlantis.ch/2000-watt-gesellschaft/eco2-rechner.html>

In einer 2000-Watt-Gesellschaft würde pro Kopf eine Dauerleistung von 2000 Watt beansprucht, der jährliche Energieverbrauch pro Kopf würde sich also auf rund 17'500 kWh Kopf⁻¹ a⁻¹ belaufen. Je nach Quelle findet man für den schweizerischen Energieverbrauch pro Kopf inklusive importierter grauer Energie sehr verschiedene Zahlen, beispielsweise 6000 Watt¹¹ oder 9000 Watt¹².

Bei einer Fläche von 41285 km² und einer jährlichen Einstrahlung von 1200 kWh m⁻² werden pro Person rund **20'000'000 MJ Sonnenenergie** jährlich in die Schweiz eingestrahlt.

Abschätzung der weltweiten Energieflüsse¹³

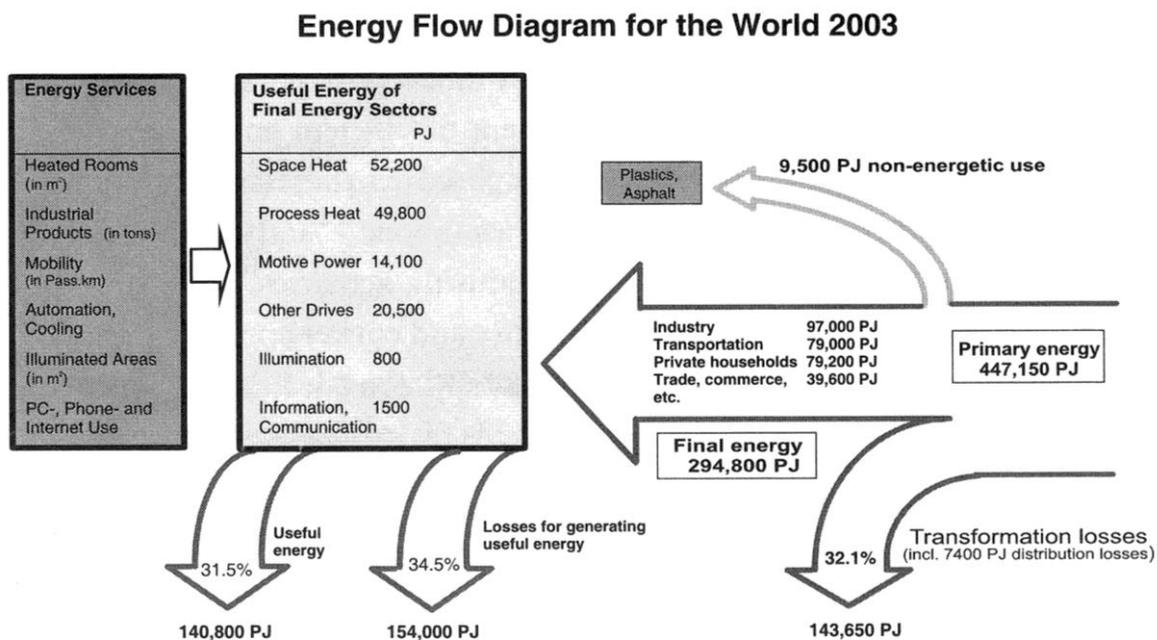


Fig. 1: The Energy System from Services to Useful, Final and Primary Energy, World 2003 (sources: OECD 2005, own calculations)

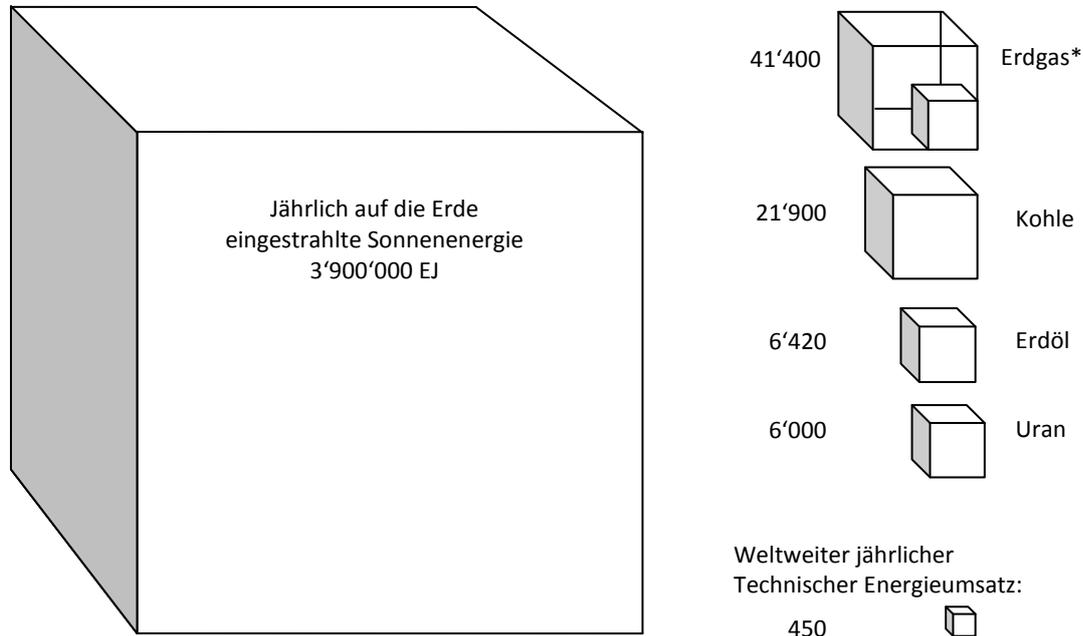
¹¹ Energiestiftung Schweiz: Energieperspektive 2050 Kurzfassung; Wegweiser in die 2000-Watt-Gesellschaft http://www.energiestiftung.ch/files/downloads/energiethemen-energieeffizienz/kurzfassung-ellipson_web.pdf

¹² Hänggi, M: Ausgepowert; das Ende des Ölzeitalters als Chance, Rotpunktverlag, 2011.

¹³ Jochem, E: Energy flows and losses – the industrial countries in the iron age of history in the energy sector. In: von Rohr, P.R. und Walde, P: Energie. Vdf 2009

Weltweite Energievorräte im Vergleich

Sonneneinstrahlung, geschätzte Energievorräte und menschlicher Jahresenergieumsatz im Vergleich (Angaben in in EJ = 10¹⁸ J)



* Erdgas: nur 4'400 EJ (kleiner Würfel) können mit konventionellen Methoden gefördert werden.

Verluste

Vom heutigen weltweiten Jahresenergieverbrauch (450 EJ) werden rund 140 EJ tatsächlich genutzt, der Rest geht bei Energieumwandlungen verloren (meist als Wärme)¹⁴

Vergleich mit dem Sauerstoff-Vorrat der Atmosphäre

Würden alle heute bekannten nutzbaren fossilen Brennstoffvorräte verbrannt (4500 - 7500 Gt C), so würden entsprechend 4500 - 7500 Gt C in Form von CO₂ in die Atmosphäre gelangen und über sehr lange Zeiträume zu einem grossen Teil in den Meeren gelöst. Dabei würden rund 1-2% des Sauerstoffs in der Atmosphäre verbraucht.

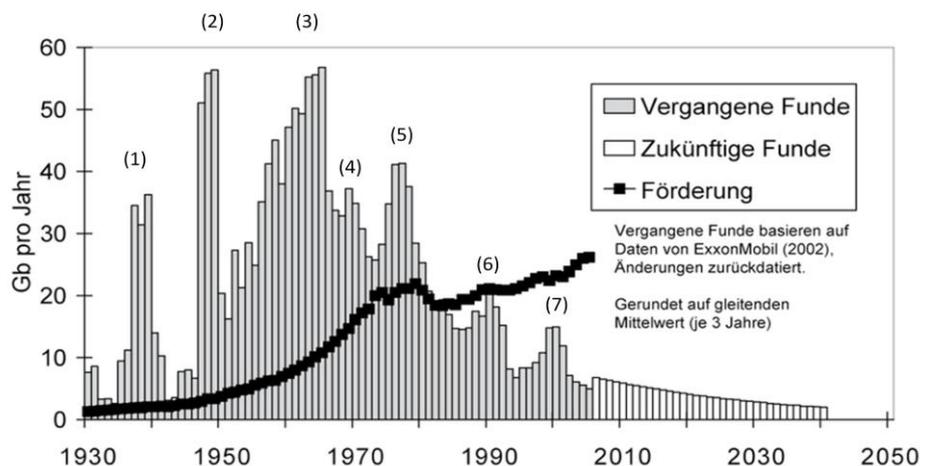
Zum Vergleich: Heute enthält die Atmosphäre rund 765 Gt C in Form von CO₂, die Meere enthalten rund 38'000 Gt C.

Erdöl

Die nebenstehende Abbildung zeigt, wie viel Erdöl jedes Jahr neu gefunden (Balken) und wie viel jährlich gefördert wurde, in Gb pro Jahr (Milliarden Barrels, 1 b = 159 L).¹⁵

Fundstellen:

- (1) Burgan (Kuwait)
- (2) Ghawar (Saudiarabien)
- (3) Samotlor (Sibirien)
- (4) Prudhoe (Alaska)
- (5) Cantraell (Mexiko)
- (6) Nordsee
- (7) Kashagan (Kasachstan)



¹⁴ Jochem, E: Energy flows and losses – the industrial countries in the iron age of history in the energy sector. In: von Rohr, P.R. und Walde, P: Energie. Vdf 2009, sowie <http://www.novatlantis.ch/fileadmin/downloads/2000watt/Weissbuch.pdf>

¹⁵ Ganser, D: Peak Oil: Erdöl im Spannungsfeld von Krieg und Frieden, in: von Rohr, P.R. und Walde, P: Energie. Vdf 2009.

Energiebereitstellung und CO₂-Emissionen

Bei der Bereitstellung von Energie werden Kohlendioxid und andere Treibhausgase emittiert. Viele der unten aufgeführten Kraftwerk-Typen erzeugen natürlich im Betrieb keine Treibhausgase (Solarkraftwerke, Windkraftwerke, Kernkraftwerke, ...). Aber im gesamten Lebenszyklus werden dennoch Treibhausgase frei: Beim Bau und Rückbau der Kraftwerke, bei der Aufarbeitung der Energieträger, etc.

Um die Wirkung der verschiedenen Treibhausgase miteinander vergleichen zu können, werden ihre Mengen in CO₂-Äquivalenten angegeben: Ein CO₂-Äquivalent (1 g CO₂e) eines beliebigen Gases trägt gleich viel zum Treibhauseffekt bei, wie ein Gramm Kohlendioxid.

Emissionen von CO₂-Äquivalenten mit Berücksichtigung des Lebenszyklus (Aufarbeitung, Graue Energie in Kraftwerken etc)¹⁶.

	g CO ₂ e kWh ⁻¹
Kohle	960 - 1050
Kohle CCS*	255 - 442
Öl, Diesel	778
Erdgas	443
Biogas	11 - 35
Biomasse	14 - 35
Kernenergie	(9-) 70
Solarenergie: Fotovoltaik	19 - 59
Solarenergie: thermische Nutzung	13
Wind	2.8 - 10
Geothermie	38
Wasserkraft	10 - 22
Wellen	22
Gezeiten	14

*carbon capture and storage, also Kraftwerke, bei denen das produzierte CO₂ eingefangen und z.B. im Boden endgelagert wird.

CO₂-Bildung bei Verbrennungen

CO₂-Bildung durch Verbrennen von Stoffen pro freigesetzte Wärme (pro Brennwert = Verbrennungsenthalpie)

	gCO ₂ kWh ⁻¹
Graphit (Kohlenstoff)	402
Diesel	255
Methan (CH ₄)	178

26.01.2012, Zusammenstellung Urs Leisinger

¹⁶ Quellen: Mark Z. Jacobson, CO₂-Emissionen: Review of solutions to global warming, air pollution, and energy security, Energy Environ. Sci., 2009, 2, 148–173 **sowie** http://en.wikipedia.org/wiki/Comparisons_of_life-cycle_greenhouse_gas_emissions