



Energieressourcen: Zahlen und Fakten

Nutzung, Potentiale und Risiken verschiedener Energieressourcen in der Schweiz



sc | nat ⁺

Swiss Academy of Sciences
Akademie der Naturwissenschaften
Accademia di scienze naturali
Académie des sciences naturelles

Inhalt

Einleitung	1
Bemerkungen zu den Ressourcen	2
Erläuterungen zu den Spalten der Tabellen.....	4
Elektrizität	6
Wärme	7
Treibstoff	8
Quellen	9



IMPRESSUM:

Herausgeber:

Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT)

Schwarztorstrasse 9, 3007 Bern

Tel. +41 (0)31 310 40 20

Fax +41 (0)31 310 40 29

E-Mail: info@scnat.ch

Autor und Redaktion:

ProClim– Forum for Climate and Global Change

Schwarztorstrasse 9, 3007 Bern

Tel. +41 (0)31 328 23 23

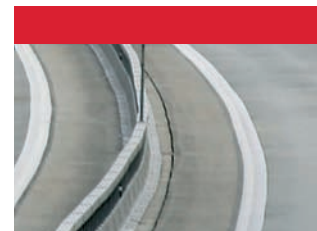
Fax +41 (0)31 328 23 20

E-Mail: neu@scnat.ch

Layout: Olivia Zwygart

Fotos: Christoph Ritz, Christoph Kull

Bern, März 2007 (Version 2)



Energieressourcen: Zahlen und Fakten

Nutzung, Potentiale und Risiken verschiedener Energieressourcen in der Schweiz

Autor und Redaktion: Urs Neu, ProClim-

Das Dokument gibt einen Überblick über die Grössenordnungen der für Entscheidungsträger wichtigen Angaben zu den wichtigsten Energieressourcen (Vorräte, Kosten, Emissionen, Potentiale usw.).

Es existiert bisher kein Bericht, der alle diese für Entscheidungsträger wichtigen Angaben für alle Energieressourcen für die Schweiz abdeckt. Es gibt hingegen zahlreiche Studien zu verschiedenen Teilbereichen. Das vorliegende Faktenblatt versucht, aus der Fülle von Studien aus anerkannten Institutionen und Expertenmeinungen eine Synthese zu erarbeiten.

Den verschiedenen Studien liegen unterschiedliche Annahmen und Berechnungsmethoden zu Grunde. Die in der Literatur gefundenen Werte sind deshalb nicht exakt vergleichbar, geben jedoch einen Ein-

druck über die Grössenordnung und den Schwankungsbereich der gesuchten Zahlen. Um trotzdem ein gewisses Mass an Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurden nur Studien berücksichtigt, die verschiedene Rahmenbedingungen erfüllen (z. B. «life cycle»-Analysen für Emissionen, siehe untenstehende Erläuterungen zu den Kolonnen). Es sollen nur Grössenordnungen verglichen werden, nicht jedoch die quantitativen Unter- bzw. Obergrenzen. Bei den Kosten werden nur relative Vergleiche dargestellt. Für detaillierte Angaben zu einzelnen Ressourcen sollten die spezifischen Studien konsultiert werden.

Die Analysen der verschiedenen Energieformen (Elektrizität, Wärme, Transport) sind unterschiedlich, deshalb sind die Kosten und Emissionen zwischen den Energieformen nicht vergleichbar.



Bemerkungen zu den einzelnen Ressourcen

Kohle: Kohle hat in der Schweiz heute eine relativ geringe Bedeutung, könnte aber weltweit in Zukunft an Bedeutung gewinnen, da die Vorräte grösser sind als bei Erdöl und Erdgas. Kohle ist geographisch besser verteilt und stammt aus politisch stabileren Regionen. Zudem könnte Kohle längerfristig billiger werden als die anderen fossilen Ressourcen.

Erdöl: Die weltweiten Erdölvorräte werden sehr unterschiedlich beurteilt. Erdölvorräte in schwer abbaubarer Form (Ölsande, Ölschiefer) sind zwar gross, doch ist mit hohen Kosten und je nach Gehalt mit grossem Energieaufwand für den Abbau zu rechnen. Längerfristig werden die Preise aufgrund des zunehmenden Bedarfs und abnehmender Vorräte steigen. Die einfach abbaubaren Vorräte sind geographisch stark konzentriert und liegen in politisch instabilen Gebieten.

Erdgas: Die Erdgasvorräte reichen etwas länger als die leicht zugänglichen Erdölvorräte. Erdgas weist insgesamt geringere Schadstoffemissionen als Erdöl und Kohle auf, doch die CO₂-Emissionen sind trotzdem noch sehr hoch. Die meisten der für Europa massgeblichen Vorräte befinden sich auf dem Gebiet der ehemaligen Sowjetunion und damit in einem Gebiet mit unsicherer politischer Entwicklung. Die Preise bewegen sich ungefähr parallel zum Erdöl und werden längerfristig auch weiter ansteigen.

Uran: Die Uranvorräte reichen bei heutigem Verbrauch noch relativ weit, sind aber nicht unbegrenzt und mit der Zeit nur noch mit relativ hohem Aufwand abbaubar. Kernkraft weist geringe CO₂-Emissionen auf. Einen weltweit starken Ausbau der Kernkraftwerke lassen die Ressourcen zur Zeit jedoch kaum zu. Dies wäre nur mit Reaktoren einer noch zu entwickelnden neuen Generation mit deutlich verbesserter Ressourceneffizienz möglich. Das bedingt jedoch noch grosse Entwicklungsarbeit und -kosten. Für das Abfallproblem ist in der Schweiz die technische Machbarkeit theoretisch aufgezeigt,

die praktische Umsetzung jedoch noch ungelöst. Fragezeichen bestehen auch in der politischen Akzeptanz von neuen Kernkraftwerken.

Wasserkraft: Das Wasserkraftpotential in der Schweiz ist zu einem grossen Teil ausgeschöpft, z.T. auch aus Gründen des Landschaftschutzes. Potential besteht noch im Bereich von Kleinkraftwerken oder Laufkraftwerken an Flüssen. Längerfristig könnte die Stromproduktion aus Wasserkraft in Trockenzeiten reduziert werden, wenn das Gletschervolumen drastisch abnimmt. In Zukunft wird einerseits aufgrund der Klimaänderung eine Verschiebung der Niederschläge in die Winterzeit, andererseits ein erhöhter Strombedarf im Sommer für Kühlung und im Winter für Wärmepumpen erwartet. Die Kosten für Stromproduktion aus bestehenden Kraftwerken sind tief, die Gestehungskosten neu gebauter Anlagen jedoch deutlich höher. Aufgrund der kurzfristigen Möglichkeiten zum Ein- und Ausschalten der Speicher-Kraftwerke ist das Potential für die kurzfristige Netzregelung im gesamteuropäischen Netzwerk gross und deshalb strategisch wichtig.

Sonne: Bei zunehmender Nachfrage und weiteren technischen Fortschritten wird mit einer Senkung der heute noch sehr hohen Gestehungskosten für die Stromproduktion gerechnet. Die der Stromproduktion mit Photovoltaikzellen zuzuordnende Schadstoffproduktion («life cycle») ist im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energien relativ hoch, da pro produzierte Energieeinheit relativ viel Material eingesetzt werden muss. Die CO₂-Produktion bei solarthermischen Kraftwerken ist hingegen deutlich tiefer. Nachteilig wirkt sich der unregelmässige Energieanfall aus. Grosses Potential besteht hingegen in der lokalen Wärmeproduktion mit relativ geringen Kosten und Schadstoffemissionen. Ein sehr hohes Potential würde der Bau von Solarthermischen Kraftwerken im Mittelmeerraum bergen, was allerdings wiederum eine Auslandsabhängigkeit bedeuten würde, dies aber immerhin



in geographisch anderen Räumen als für Erdöl und Erdgas.

Geothermie/Umgebungswärme: Die Nutzung von Umgebungswärme (aus Luft, Wasser und vor allem aus dem Boden) hat ein grosses Potential und weist viele Vorteile auf (praktisch unbeschränkt verfügbar, zeitlich wie räumlich, einheimische Quelle, geringe Schadstoffproduktion), hat aber den Nachteil, dass zur Gewinnung Strom gebraucht wird. Die Wärmegewinnung aus dem tiefen Untergrund (Geothermie) und auch die nachfolgende Stromproduktion hat ein sehr hohes Potential: einheimisch, sauber, praktisch unbeschränkt verfügbar. Hier sind jedoch noch grosse Anstrengungen bei der Entwicklung von Systemen nötig. Die Stromgewinnung ist vor allem in Verbindung mit der Nutzung der grossen anfallenden Wärmemenge sinnvoll.

Wind: Für die Stromproduktion aus Windkraftwerkparcs ist das räumliche Potential in der Schweiz relativ beschränkt. Für einen nennenswerten Beitrag an die Energieversorgung wären zahlreiche Einzelanlagen nötig.

Holz/Biomasse: Holz und Biomasse sind eine einheimische Energiequelle, der Umfang ist jedoch beschränkt und die Schadstoffemissionen sind relativ hoch, insbesondere für NO_2 und Feinstaub. Filteranlagen sind eine Voraussetzung für die breitere Nutzung. Die vorhandenen Ressourcen (v. a. Altholz, Abfälle) sollten genutzt werden. Das Potential für den Anbau von Biomasse als Energieträger ist in der Schweiz beschränkt.

Biogas: Für Biogas gilt Ähnliches wie für Holz, doch sind die Schadstoffemissionen deutlich geringer. Methan aus Biomasse kann aus holzartigen Abfällen und flüssiger Biomasse (Gülle) gewonnen werden. Dieses Methan kann über die bestehenden Erdgasnetze verteilt und genutzt werden. Das Potential von Biogas steht in Konkurrenz zur Verheizung (anstatt Vergärung) von Biomasse bzw. zur Produktion von Bio-Treib-

stoff.

Industrieabfälle/KVA: Das Potential der Nutzung von Kehrlichtverbrennung für die Wärme- und Stromproduktion ist in der Schweiz bereits weitgehend ausgeschöpft.

Sparpotential: Es besteht in vielen Bereichen ein beträchtliches Sparpotential, vor allem im Bereich Wärmeisolation und Energieeffizienz von Maschinen, Motoren, elektrischen Geräten usw. Die Nutzung dieses Potentials bedingt Investitionen, die aber durch den geringeren Verbrauch an Energie mindestens teilweise kompensiert oder in gewissen Fällen sogar übertroffen werden, sowohl bei Maschinen als auch Fahrzeugen. Die kostenseitige Bilanz ist vor allem dann positiv, wenn beim routinemässigen Ersatz oder Neubau von Geräten, Autos, etc. die technisch höchstmöglichen Standards verwendet werden. Höhere Kosten entstehen vor allem bei der Nachrüstung. Längerfristig am effizientesten ist die Durchsetzung von Maximalstandards bei Neuanschaffungen.

Wärme-/Kraft-Kopplung: Es ist bei allen Ressourcen zu beachten, dass bei kombinierter Strom- und Wärmeproduktion sowohl in Kraftwerken als auch bei Kleinanlagen die Energienutzung effizienter ist.



Erläuterungen zu den einzelnen Spalten der Tabellen

Ressourcen: Aufgeführt sind die wichtigsten heutigen und zukünftigen Energieressourcen in der Schweiz.

Anteil an Konsum heute: Prozentualer Anteil am Verbrauch in der Schweiz 2005 (gem. BFE-Statistik)

Die Fernwärme (Anteil am Energiemix 1.8%) wurde zu 50% den Industrieabfälle + KVA und zu 50% dem Erdöl zugerechnet. Die thermische Stromproduktion (5.4% der Elektrizitätsproduktion) wurde zu 50% den KVA + Industrieabfällen und zu 50% dem Erdöl zugerechnet.

Vorräte: Dauer der Abdeckung des heutigen Verbrauchs durch die vorhandenen Vorräte weltweit (so genannte statische Reichweite).
Achtung: Bei stark ansteigendem Verbrauch wird diese Dauer entsprechend kürzer.

Versorgungssicherheit: Die Versorgungssicherheit umfasst folgende Faktoren:

1. Kurzfristige Verfügbarkeit, d.h. wird die Energie konstant produziert, fällt sie stochastisch an (z.B. abhängig vom Wetter) oder ist sie im Prinzip «frei», d.h. nach Bedarf rasch einsetzbar). Sie beeinflusst die Stabilität des Elektrizitätsnetzes (der stochastische Anfall von Energie in grösserem Umfang benötigt einen Ausgleich durch rasch nutzbare Leistung).
2. Für welche Verbrauchsdauer (bei heutigem Verbrauch) sind Vorräte in der Schweiz gespeichert?
3. Herkunftsgebiet (Inland, Import, Herkunft aus bzw. Transport durch politisch instabile Gegenden).

Die Versorgungssicherheit ist vor allem im Strombereich kritisch, wo wenig Speicherkapazitäten vorhanden sind. Im Wärmebereich ist vor allem die Konzentration auf Quellen in geographisch begrenzten Gebieten kritisch, so dass Extremereignisse (Naturkatastrophen, Kriege, politische Aktivitäten) grosse Versorgungsengpässe hervorrufen können (je höher die Konzentration, desto grösser die

Unsicherheit).

Kosten: Angabe der Kosten für die Bereitstellung einer Energiemenge in der Verbrauchsform äquivalent zu 1 kWh. Diese Kosten sind u.a. abhängig von der Form der Gewinnung (z.B. Erdöl aus Quellen oder aus Schiefern, Grösse des Kraftwerks). Berücksichtigt sind auch Preisschwankungen, Preissenkungen durch technologische Entwicklungen, sowie Preissteigerungen aufgrund der Verknappung der Ressource.

Die Kosten sollten den ganzen «life cycle» beinhalten (Gestehungskosten), also Förderung, Transport, Kraftwerkbau, laufende Produktionskosten, Abfallentsorgung. In den Kosten nicht enthalten sind externe Kosten (z.B. indirekte Kosten durch Umweltbelastungen). Sofern die Angaben nicht den vollständigen «life cycle» repräsentieren, ist dies vermerkt.

Dargestellt sind nur relative Kosten im Vergleich zu den anderen Ressourcen und deren Entwicklung über die nächsten Jahrzehnte (von links nach rechts). Rot bedeutet für vergleichbare Nutzungen relativ hohe, blau mittlere und grün relativ tiefe Kosten.

Schadstoffausstoss: Gibt den Schadstoffausstoss pro verbrauchter kWh Energie an, aufgeführt sind CO₂, Kohlenwasserstoffe, Stickoxide, Partikel und evtl. weitere relevante Schadstoffe. Der Schadstoffausstoss bezieht sich auf den gesamten «life cycle» (Förderung, Transport, Kraftwerkbau, Verbrennung, Abfallentsorgung). Die «life cycle»-Analysen sind für die verschiedenen Energieformen unterschiedlich und die Zahlen nur innerhalb der selben Energieform (Elektrizität, Wärme und Treibstoff) vergleichbar (Elektrizität: Zyklus bis zur Einspeisung ins Netz; Wärme: Zyklus bis zur Heizung eines Raumes; Treibstoff: Motorenleistung).

Risiken: Technische Risiken bei der Produktion, beim Transport (z.B. durch Lecks, Umwelteinflüsse), bei der Entsorgung von Ab-

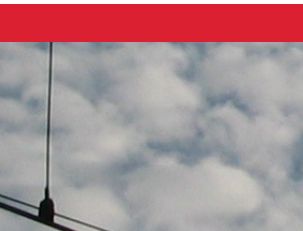


fällen (Radioaktivität, giftige Rückstände u. ä.) sowie Umwelt-
risiken (Luftverschmutzung, klimawirksame Emissionen).
Ebenfalls zu den Nutzungsrisiken gehört die politische Akzep-
tanz.

Möglicher Beitrag zur Energieversorgung Schweiz: Aufgeführt ist die
Bandbreite des absoluten möglichen Beitrages zur zukünftigen
Energieversorgung in der Schweiz in den Jahren 2020
bzw. 2050 (in GWh). Die Angabe ist eine Abschätzung des re-
alistisch-optimistischen Potentials. Der Anteil am Energiemix
ist abhängig von der Nachfrageentwicklung. Allfällige
prozentuale Angaben sind in absolute Energiebeiträge um-
gerechnet.

Chancen und Potentiale: Mögliche Weiterentwicklung in der Ressour-
cengewinnung, Möglichkeiten zur Verminderung von Risi-
ken oder Emissionen (z.B. CO₂-capturing), Möglichkeiten
zum Einsatz in weiteren Verbrauchersystemen. Möglichkei-
ten der CO₂-Emissions-Reduktion durch Sequestration (Bin-
dung von CO₂ aus den Emissionen und Lagerung im Boden)
und entsprechende Kosten.

Handlungsbedarf aus wissenschaftlicher Perspektive: Handlungsbedarf
bezüglich dieser Ressource aus wissenschaftlicher Sicht hin-
sichtlich Risiken, Versorgungssicherheit, Forschungsbedarf
u. ä.



Elektrizität

Ressourcen	Anteil an Konsum heute (in %)	Vorräte (statische Reichweite)	Versorgungssicherheit 1. Verfügbarkeit 2. Speichermöglichkeit CH 3. Produktionsstandort	Kosten (links heute, rechts Zukunft)	Schadstoffausstoss pro kWh – GHG (CO ₂ äq) – NOx – Feinstaub (PM10)	Risiken – Abfälle – Umweltrisiken – Politische Akzeptanz	Möglicher Beitrag zur Energieversorgung Schweiz (in GWh) 2020/2050 Elektrizität 2005: 62'000	Chancen und Potentiale (inkl. Sequestration)	Handlungsbedarf aus wissenschaftlicher Perspektive
Kohle	< 0.1	> 200 Jahre	1. Frei 2. Wochen 3. Ausland / geringe Unsicherheit		– 800-1700 g CO ₂ – 500-1000 mg NOx – 50-150 mg PM10	– CO ₂ -Emissionen – Luftschadstoffe – Ausbeutung (Unfälle) – Terroranschlag		– Filter – CO ₂ -Sequestration	– CO ₂ -Abtrennung – Sequestrierung
Erdöl	2.7	40-90 Jahre	1. Frei 2. Monate 3. Ausland / hohe Unsicherheit		– 500-1200 g CO ₂ – 300-1200 mg NOx – 20-30 mg PM10	– CO ₂ -Emissionen – Luftschadstoffe – Umweltrisiken beim Transport – Terroranschlag		– Filter – CO ₂ -Sequestration – Erschliessung weiterer Reserven – Erhöhung der Ausbeute	
Erdgas	< 0.1	60-130 Jahre (60 bekannt)	1. Frei 2. Tage 3. Ausland / mittlere bis hohe Unsicherheit		– 400-1000 g CO ₂ – 80-500 mg NOx – < 1 mg PM10	– CO ₂ -Emissionen – Luftschadstoffe – Terroranschlag	– Nur Import – GuD KW – Theoretisch ganzer Bedarf – Langfristig beschränkte Verfügbarkeit	– WKK und Gas-Wärmepumpen	
Uran	38	50-150 Jahre (50 bekannt)	1. Konstant 2. Jahre 3. Ausland / geringe Unsicherheit		– 5-50 g CO ₂ – 20-200 mg NOx – 1-30 mg PM10	– Risiko GAU 10 ⁻⁵ -10 ⁻⁶ /Reaktorjahr – Abfallentsorgung – Politische Akzeptanz – Terroranschlag	– 2020: 22'000 – 2050: theoretisch ganzer Bedarf – Langfr. Verfügbarkeit abhängig von techn. Entwicklung	– Neue Generation (Generation IV) mit besserer Ressourcen-Ausnutzung – Nutzung der Abwärme	– Hochtemperaturmaterialien
Wasserkraft	56.5	Erneuerbar	1. Teilw. frei, teilw. konstant, langfr. eingeschränkt bei Trockenheit 2. Monate 3. Inland	Klein-KW	– 4-40 g CO ₂ – 10-80 mg NOx – 15-60 mg PM10	– Restwasser – Landschaftsschutz – Terroranschlag – Erdbeben	– 34000-37000 – Einschränkung langfristig bei längeren Trockenperioden		– Einfluss längerer Trockenperioden ohne Gletscher
Sonne	< 0.1	Erneuerbar	1. Stochastisch 2. Tage 3. Inland		– 40-150 g CO ₂ (PV) bzw. 10-20 g CO ₂ (solarthermische KW) – 40-300 mg NOx – 60-120 mg PM10	– Toxische Substanzen bei der Produktion von PV-Zellen (v. a. F, teilweise As, Cd)	– 2005: 17 – TP: 30'000 – Realistisch 2020: 50-300 2050: 1000-5000	– Import aus solarthermischen KW im Mittelmeerraum	
Geothermie tief	< 0.1	Erneuerbar	1. Konstant 2. Stunden 3. Inland		– 20-60 g CO ₂	– Technische Risiken – Auslösung kleiner Erdbeben in der Bauphase	– 2050: 2000 – Langfristig sehr hoch	– Sehr grosses Potential – Kosten und technische Machbarkeit unsicher – Nutzung der Abwärme	– Exploration tiefer Aquifere – Technik
Wind	< 0.1	Erneuerbar	1. Stochastisch 2. – 3. Inland / Ausland		– 10-20 g CO ₂ – 40-70 mg NOx – 10-50 mg PM10	– Landschaftsbild	– 2005: 8 – 2050: 1000-4000 (hoher Wert bedingt Einzelanlagen)		
Holz Biomasse	< 0.1	Erneuerbar	1. Frei 2. Wochen 3. Inland		– 50-150 g CO ₂ – 1500-2500 mg NOx – 50-2000 mg PM10	– Partikel- und NOx-Emissionen (Holz) – Evtl. Wasserverbrauch	– 2020: 1000-2000 – 2050: 3000-4000	– Emissionsverminderung durch Partikelfilter – Dezentrale WKK	– Brennwerttechnik, – Rauchgaskondensation
Biogas	< 0.1	Erneuerbar	1. Frei 2. Tage 3. Inland		– 10-11 g CO ₂ – 500-700 mg NOx – 30-50 mg PM10	Gering	– 2050: 5000 (Konkurrenz zu Treibstoff)		
Industrieabfälle + KVA	2.7	Erneuerbar	1. Konstant 2. Wochen 3. Inland		N.A.	Gering	– Heute: 1300 – TP: 1600	– Potential fast ausgeschöpft – Besserer Wirkungsgrad	
Energieeffizienz			Nicht relevant			Gering	– Optim.-realist. bis 2035: 10'000-15'000	– Effizientere Geräte – WKK	

Ressourcen	Anteil an Konsum heute (in %)	Vorräte (statische Reichweite)	Versorgungssicherheit 1. Verfügbarkeit 2. Speichermöglichkeit CH 3. Produktionsstandort	Kosten (links heute, rechts Zukunft)	Schadstoffausstoss pro kWh – GHG (CO ₂ äq) – NOx – Partikel (PM10)	Risiken – Abfälle – Umweltrisiken – Politische Akzeptanz	Möglicher Beitrag zur Energieversorgung Schweiz (in GWh) 2020/2050 Wärme heute: 110'000	Chancen und Potentiale (inkl. Sequestration)	Handlungsbedarf aus wissenschaftlicher Perspektive
Kohle	1.4	> 200 Jahre	1. Frei 2. Wochen 3. Ausland / geringe Unsicherheit		– 400-700 g CO ₂ – 300-600 mg NOx – 200-1000 mg PM10	– CO ₂ -Emissionen – Luftschadstoffe – Ausbeutung (Unfälle)	– Theoretisch gross – Praktisch nur Import	– Filter – CO ₂ -Sequestration	
Erdöl	58	40-90 Jahre	1. Frei 2. Monate 3. Ausland / hohe Unsicherheit		– 300-500 g CO ₂ – 200-500 mg NOx – 30-70 mg PM10	– CO ₂ -Emissionen – Luftschadstoffe – Umweltrisiken beim Transport	– Nur Import – Theoretisch ganzer Bedarf – Langfristig beschränkte Verfügbarkeit	– Filter – CO ₂ -Sequestration – Erschliessung weiterer Reserven – Erhöhung der Ausbeute	– Weiterentwicklung der Technologie
Erdgas	27	60-130 Jahre (60 bekannt)	1. Frei 2. Tage 3. Ausland / mittlere bis hohe Unsicherheit		– 200-400 g CO ₂ – 200-700 mg NOx – 5-20 mg PM10	– CO ₂ -Emissionen – Luftschadstoffe	– Nur Import – GuD KW – Theoretisch ganzer Bedarf – Langfristig beschränkte Verfügbarkeit		
Sonne	< 0.5	Erneuerbar	1. Stochastisch 2. Tage 3. Inland		– 5-30 g CO ₂ – 50-70 mg NOx	Gering	– Heute: 190 – TP: 20'000 – 2050: 3000-5000		
Umgebungs-wärme (Wärmepumpen)	1.4	Erneuerbar	1. Konstant 2. Std./Tage 3. Inland		– 3-50 g CO ₂ – 50-100 mg NOx	– Grundwasserschutz	– Heute: 1000 – TP: 20'000 – 2050: 5000-10000 – Langfristig gross – Braucht Strom		
Geothermie tief	< 0.5	Erneuerbar	1. Konstant 2. Stunden 3. Inland		– 1-10 g CO ₂	– Wärmetauscher im Untergrund – Langzeitverhalten – Auslösung kleiner Erdbeben in der Bauphase	– 2050: 2000-10000 – Langfristig gross		– Exploration tiefer Aquifere – Technik
Holz Biomasse	7	Erneuerbar	1. Frei 2. Wochen 3. Inland		– 5-40 g CO ₂ – 100-700 mg NOx – 50-200 mg PM10	– Partikel- und NOx-Emissionen (Holz) – Evtl. Wasserverbrauch	– Heute: 4000 – 2050: 5000-10000	– Vergasung → Biogas	– Brennwert-technik, – Rauchgas-kondensation
Biogas	< 0.5	Erneuerbar	1. Frei 2. Tage 3. Inland		– 0.2 g CO ₂ – 400-1800 mg NOx – 1-100 mg PM10	Gering	– Heute: 600 – 2050: 5000 (WKK)		
Industrieabfälle + KVA	5	Erneuerbar	1. Konstant 2. Wochen 3. Inland		N.A.	Gering	– Heute: 2500 – Ausgeschöpft	– Nutzung der Abwärme bei Stromproduktion	
Energieeffizienz			Nicht relevant		1-50 g	Gering	– 20'000-40'000	– Isolation – Minergie – effiziente Heizungen – effiziente Produktion	

Abkürzungen:

- WKK: Wärme-Kraft-Kopplung
- CO₂: Treibhausgase in CO₂-Äquivalent
- TP: Technisches Potential
- KW: Kraftwerk
- PV: Photovoltaik (Sonnenzellen)
- GuD: Gas und Dampf (Kombinierter Zyklus mit Gas- und Dampfturbinen)
- KVA: Kehrlichtverbrennungsanlage

Farbgebrauch:

Grössenordnung der Werte im **positiven**, **mittleren** bzw. **negativen** Bereich

Einheiten

Energiebeiträge in GWh (1 GJ = 278 kWh, 1 PJ = 278 GWh)

Treibstoff

Ressourcen	Anteil an Konsum heute (in %)	Vorräte (statische Reichweite)	Versorgungssicherheit 1. Verfügbarkeit 2. Speichermöglichkeit CH 3. Produktionsstandort	Kosten (links heute, rechts Zukunft)	Schadstoffausstoss pro kWh – GHG (CO ₂ äq) – NOx – Partikel (PM10)	Risiken – Abfälle – Umweltrisiken – Politische Akzeptanz	Möglicher Beitrag zur Energieversorgung Schweiz (in GWh) 2020/2050 Transport heute: 80'000	Chancen und Potentiale (inkl. Sequestration)	Handlungsbedarf aus wissenschaftlicher Perspektive
Kohle verflüssigt	< 0.1	> 100 Jahre	1. Frei 2. Wochen 3. Ausland/ geringe Unsicherheit		350-400 g CO ₂	– CO ₂ -Emissionen – Luftschadstoffe – Ausbeutung (Unfälle)	– Vorübergehender Erdölersatz		
Erdöl	99	40-90 Jahre	1. Frei 2. Monate 3. Ausland / hohe Unsicherheit		250-300 g CO ₂	– CO ₂ -Emissionen – Luftschadstoffe – Umweltrisiken beim Transport	– Nur Import – Theoretisch ganzer Bedarf – Langfristig beschränkte Verfügbarkeit	– Filter – Erschliessung weiterer Reserven – Erhöhung der Ausbeute	
Erdgas	< 0.5	70-130 Jahre (70 bekannt)	1. Frei 2. Tage 3. Ausland / mittlere bis hohe Unsicherheit		220-260 g CO ₂	– CO ₂ -Emissionen – Luftschadstoffe	– 2020: 1% Erdgas-Fahrzeuge – beachtliche Entwicklung möglich		
Biodiesel	< 0.5	Erneuerbar	1. Frei 2. Wochen 3. Inland		50-200 g CO ₂	– Biodiversitätsverlust bei Monokulturen		– Beschränktes inländisches Potential	– Brennwertechnik, – Rauchgaskondensation
Biogas	< 0.5	Erneuerbar	1. Frei 2. Tage 3. Inland	Je nach Abfallpreis 	5-10 g CO ₂	– Biodiversitätsverlust bei Monokulturen	– 1% Gasfahrzeuge mit Biogas		
Energieeffizienz			Nicht relevant			Gering	– 20'000-30'000 – 3000-7000	– Effizientere Motoren und Fahrzeuge – Fahrverhalten – Umsteigen auf ÖV	

Farbgebrauch:

Grössenordnung der Werte im **positiven**, **mittleren** bzw. **negativen** Bereich

Einheiten

Energiebeiträge in GWh (1 GJ = 278 kWh, 1 PJ = 278 GWh)

Abkürzungen:

WKK: Wärme-Kraft-Kopplung

CO₂: Treibhausgase in CO₂-Äquivalent

TP: Technisches Potential

KW: Kraftwerk

PV: Photovoltaik (Sonnenzellen)

GuD: Gas und Dampf (Kombinierter Zyklus mit Gas- und Dampfturbinen)

KVA: Kehrlichtverbrennungsanlage

- BFE, 2004: Potentiale zur energetischen Nutzung von Biomasse in der Schweiz. Bundesamt für Energie, Bern.
(http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_736197123.pdf)
- BFE, 2006: Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2005. Bundesamt für Energie, Bern.
- BFE, 2006: Überblick über den Energieverbrauch der Schweiz im Jahr 2005. Bundesamt für Energie, Bern.
- Dettli, R. et al., 2004: Kosten und Entschädigung von Strom aus Kehrichtverbrennungsanlagen. Bundesamt für Energie, Bern.
- Dones R., T. Heck, S. Hirschberg, 2004: Greenhouse Gas Emissions from Energy Systems, Comparison and Overview. Encyclopedia of Energy, 3, 77-95.
- FNR, 2006: Biokraftstoffe – eine vergleichende Analyse. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., Gülzow (D).
- Gehua, W. et al., 2006: Liquid Biofuels for Transportation - Chinese Potential and Implications for Sustainable Agriculture and Energy in the 21st Century. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 2006.
- Hirschberg S., 2003: Comparative Analysis of Analysis of Energy Energy Systems. Vorlesung EPFL 18.6.2003.
(<http://lrs.epfl.ch/webdav/site/lrs/shared/Document/hirschberg2.pdf>)
- Hirschberg, S. et al., 2005: Erneuerbare Energien und Nuklearanlagen. Bundesamt für Energie, Bern.
(http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_547459984.pdf)
- IEA/SLT, 2006: Energy security (final draft chapter 1-4). International Energy Agency/Standing Group on long term co-operation, Paris, 2.10.2006.
- Lauer, F. et al., 2004: Ausbaupotential der Wasserkraft. Bundesamt für Energie, Bern.
(http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_490499577.pdf)
- Nitsch, J. et al., 2004: Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland. Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.), Stuttgart/Heidelberg/Wuppertal.
(http://www.dlr.de/tt/institut/abteilungen/system/publications/Oekologisch_optimierter_Ausbau_Langfassung.pdf)
- Nussbaumer, T, 2005: Holzgas/Erdgas-Kombikraftwerk für die Schweiz: Potenzial und Wirtschaftlichkeitsabschätzung; Input-Papier für die Stromangebots-Perspektiven 2035 des Bundesamts für Energie, Version 3 (28.11.2005). Verenum, Zürich.
- Ökoinstitut, 2004: Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS), V4.2. Ökoinstitut Darmstadt, Darmstadt. (http://www.oeko.de/service/gemis/files/doku/g42-results_1.zip)
- SATW, 1999: CH50% – Eine Schweiz mit halbiertem Verbrauch an fossilen Energien. SATW-Studie Nr. 30, Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften SATW, Zürich.
- SATW, 2006: Road Map für die erneuerbaren Energien in der Schweiz bis 2050 – Eine Analyse zur Erschliessung der Potentiale bis 2050. SATW-Bericht Nr.39, Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften SATW, Zürich.
- Schuss M., 2004: Life cycle Analyse von Passiv-Häusern. Diplomarbeit, Technische Universität Wien, Wien.
(http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/daten/produkte/gemis/LCA_Passivhaus.pdf)
- Sturm, A. et al., 2006: Energieperspektiven 2050 der Umweltorganisationen. Ellipson AG, Basel.
(http://www.energiestiftung.ch/files/energieperspektiven/kurzfassung_ellipson_web.pdf)
- WCI, 2006: Coal: liquid fuels. World Coal Institute, Richmond (UK).
- Williams R.H. and E.D. Larson, 2003: A comparison of direct and indirect liquefaction technologies for making fluid fuels from coal. Energy for Sustainable Development, Volume VII(4), December 2003.
- Würsten, F., 2004: Abfall ist Strom und Wärme. Tec21, 45/2004 (http://www.tec21.ch/pdf/tec21_4520041780.pdf).



Verdankung

Wir möchten uns bei Lukas Gutzwiller (BFE), Kurt Wiederkehr (VSE), Paolo Burlando (ETH Zürich), Andreas Zuberbühler (SATW), Eduard Kiener (SATW), Christoph Ritz (ProClim–), Philipp Dietrich (PSI), Stefan Hirschberg (PSI), Robert Horbaty (Suisse Eole), Markus Real (Alpha Real AG), David Stickelberger (Swissolar), Irene Aegerter (SATW), Hans-Christian Angele (BiomassEnergie), Jürg Buri (Energienstiftung Schweiz), Jean-François Dupont (SATW), Andreas Grossen (Erdgas CH), Armin Heitzer (Swissoil), Andreas Keel (Holzenergie Schweiz), Leo Scherrer (Greenpeace) und Roland Wyss (Geothermie Schweiz) für die Informationen und Diskussionsbeiträge ganz herzlich bedanken.

Kurzinformation zu den herausgebenden Institutionen

SCNAT: Die Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT) unterstützt und vernetzt die Naturwissenschaften regional, national und international. Schwerpunkte der Akademie sind Früherkennung von wichtigen gesellschaftlichen Themen, Ethik in der Wissenschaft und der Dialog zwischen Wissenschaft und Gesellschaft (www.scnat.ch).

ProClim–: ProClim– ist das Schweizer Forum für Klima und globale Umweltveränderungen der SCNAT. Sein Ziel ist die Unterstützung des Wissensaustausches innerhalb der Forschung und zwischen Forschung, Entscheidungsträgern und Gesellschaft (www.proclim.ch).