



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

SATW

Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften
Académie suisse des sciences techniques
Accademia svizzera delle scienze tecniche
Swiss Academy of Engineering Sciences

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

Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften (SATW)

Seidengasse 16, 8001 Zürich

Tel. +41 (0)44 226 50 11

Fax +41 (0)44 226 50 19

E-Mail: info@satw.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, Februar 2007



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.

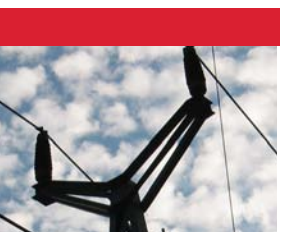
Erdgas: Die Erdgasvorräte reichen etwas länger als die leicht zugänglichen Erdölvorräte. Erdgas weist insgesamt geringere Schadstoffemissionen als Erdöl und Kohle auf, doch die CO₂-Emissionen sind trotzdem noch sehr hoch. Die meisten Vorräte befinden sich auf dem Gebiet der ehemaligen Sowjetunion und 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 als Substitution von Kohle und Erdöl (CO₂-Reduktion) lassen die Vorräte jedoch kaum zu. Dies wäre nur mit Reaktoren einer noch zu entwickelnden neuen Generation (z.B. Brüter) 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 Um-

setzung 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. Aufgrund der Klimaänderung wird einerseits eine Verschiebung der Niederschläge in die Winterzeit und ein erhöhter Strombedarf im Sommer (Kühlung) erwartet. Dies reduziert den Speicherbedarf von Wasser vom Sommer in den Winter. Die Kosten für Stromproduktion aus bestehenden Kraftwerken sind tief, die Gesteungskosten neu gebauter Anlagen jedoch deutlich höher. Aufgrund der kurzfristigen Möglichkeiten zum Ein- und Ausschalten der 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 Gesteungskosten für die Stromproduktion gerechnet. Die Stromproduktion mit Photovoltaikzellen weist für den «life cycle» eine relativ hohe Schadstoffproduktion auf im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energien. Die CO₂-Produktion bei solarthermischen Kraftwerken ist hingegen deutlich tiefer. Nachteilig wirkt sich der unregelmässige Energieanfall aus. Grosses Potential besteht hingegen in der lokalen Wärme-Produktion mit relativ geringen Kosten und Schadstoffemissionen. Ein sehr hohes Potential würde der Bau von Solarthermischen Kraftwerken im Mittelmeerraum bergen, was allerdings wiederum eine Auslandabhängigkeit bedeuten würde, immerhin in politisch sichereren Gebieten 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 anfallenden Wärme 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-Treibstoff.

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)

*Aufteilung Fernwärme (Anteil am Energiemix 1.8%): zu 50% auf Industrieabfälle + KVA und zu 50% auf Erdöl-Aufteilung thermische Stromproduktion (5.4% der Elektrizitätsproduktion) zu 50% auf KVA + Industrieabfälle und zu 50% auf Erdöl.

Vorräte: Dauer der Abdeckung des heutigen Verbrauchs durch die vorhandenen Vorräte weltweit. Achtung: Bei stark ansteigendem Verbrauch wird diese Dauer entsprechend kürzer.

Versorgungssicherheit: Die Versorgungssicherheit umfasst folgende Faktoren:

1. Kurzfristige Verfügbarkeit (wird die Energie konstant produziert, fällt sie stochastisch an, das heisst z.B. abhängig vom Wetter, oder ist sie im Prinzip frei einsetzbar). Sie beeinflusst die Stabilität des Elektrizitätsnetzes (der stochastische Anfall von Energie in grösserem Umfang benötigt einen Ausgleich durch frei nutzbare Quellen).
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 und die Anpassung über den Preis/Angebot/Nachfrage-Mechanismus zu langsam funktioniert (Netzstabilität). 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 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).

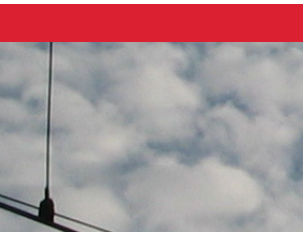
Risiken: Technische Risiken bei der Produktion, beim Transport (z. B. durch Lecks, Umwelteinflüsse), bei der Entsorgung von Abfällen (Radioaktivität, giftige Rückstände u. ä.) sowie Umwelt Risiken (Luftverschmutzung, klimawirksame Emissionen). Ebenfalls zu den Nutzungsrisiken gehört die politische Akzeptanz.



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 realistisch-optimistischen Potentials. Der Anteil am Energiemix ist abhängig von der Nachfrageentwicklung. Allfällige prozentuale Angaben sind in absolute Energiebeiträge umgerechnet.

Chancen und Potentiale: Mögliche Weiterentwicklung in der Ressourcengewinnung, Möglichkeiten zur Verminderung von Risiken oder Emissionen (z.B. CO₂-capturing), Möglichkeiten zum Einsatz in weiteren Verbrauchersystemen. Möglichkeiten der CO₂-Emissions-Reduktion durch Sequestration (Bindung von CO₂ aus den Emissionen und Lagerung im Boden) und entsprechende Kosten.

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



Elektrizität

Ressourcen	Anteil an Konsum heute (in %)	Vorräte	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 heute: 60'000	Chancen und Potentiale (inkl. Sequestration)	Handlungsbedarf aus wissenschaftlicher Perspektive
Kohle	< 0.1	> 100 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	– Weiterentwicklung der Technologie
Erdgas	< 0.1	70-130 Jahre (70 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 ungelöst – Politische Akzeptanz – Terroranschlag	– 2020: 22'000 – 2050: theoretisch ganzer Bedarf – Langfr. Verfügbarkeit abhängig von techn. Entwicklung	– Neue Generation (Generation IV, «schnelle Reaktoren», Brüter) – 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	– 34000-40000 – 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)	– Heute: 17 – TP: 30'000 – Realistisch 2020: 50-300 2050: 1000-5000	– Import aus solarthermischen KW im Mittelmeerraum – TP 2035: 250'000 GWh	
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	– Heute: 5 – 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	– Heute: 900 – 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	Keine	– 2050: 5000 (Konkurrenz zu Treibstoff)		
Industrieabfälle + KVA	2.7	Erneuerbar	1. Konstant 2. Wochen 3. Inland			Keine	– Heute: 1300 – TP: 1600	– Potential fast ausgeschöpft – Besserer Wirkungsgrad	
Sparpotential			Nicht relevant			Keine	– Optim.-realist. bis 2035: 10'000-15'000	– Effizientere Geräte – WKK	

Ressourcen	Anteil an Konsum heute (in %)	Vorräte	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	> 100 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	70-130 Jahre (70 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	Keine	– 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	Keine	– Heute: 600 – 2050: 5000 (WKK)		
Industrieabfälle + KVA	5	Erneuerbar	1. Konstant 2. Wochen 3. Inland			Keine	– Heute: 2500 – Ausgeschöpft	– Nutzung der Abwärme bei Stromproduktion	
Sparpotential			Nicht relevant		1-50 g	Keine	– 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	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 – 2050 gross		
Biodiesel	< 0.5	Erneuerbar	1. Frei 2. Wochen 3. Inland		50-200 g CO ₂	– Biodiversitätsverlust bei Monokulturen		– Beschränktes inländisches Potential	– Brenwerttechnik, – 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		
Sparpotential			Nicht relevant			Keine	– 20'000-30'000 – 3000-7000	– Effizientere Motoren und Fahrzeuge – 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

- Dones R., T. Heck, S. Hirschberg, 2004: Greenhouse Gas Emissions from Energy Systems, Comparison and Overview. Encyclopedia of Energy, 3, 77-95.
- Erneuerbare Energien und Nuklearanlagen, BFE 2005
(http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_547459984.pdf)
- Energieperspektiven 2050 der Umweltorganisationen
(http://www.energiestiftung.ch/files/energieperspektiven/kurzfassung_ellipson_web.pdf)
- Road Map Erneuerbare Energien Schweiz – Eine Analyse zur Erschliessung der Potentiale bis 2050, SATW-Bericht Nr. 39, Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften SATW, 2007 (siehe <http://www.satw.ch>)
- Ausbaupotential der Wasserkraft, BFE 2004
(http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_490499577.pdf)
- Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Nitsch et al.) 2004
(http://www.dlr.de/tt/institut/abteilungen/system/publications/Oekologisch_optimierter_Ausbau_Langfassung.pdf)
- Potentiale zur energ. Nutzung von Biomasse in der Schweiz, BFE 2004
(http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_736197123.pdf)
- Würsten F., Tec21, 45/2004
(http://www.tec21.ch/pdf/tec21_4520041780.pdf)
- 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
- Chinese Potential and Implications for Sustainable Agriculture and Energy in the 21st Century, Study of BMELV
(<http://www.gtz.de/de/dokumente/en-biofuels-for-transportation-in-china-2005.pdf>)
- CH50% – Eine Schweiz mit halbiertem Verbrauch an fossilen Energien, SATW-Studie Nr. 30, 1999
- Schuss M., Life cycle Analyse von Passiv-Häusern, Diplomarbeit
(http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/daten/produkte/gemis/LCA_Passivhaus.pdf)
- Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS), V4.2, Ökoinstitut Darmstadt 2004
(http://www.oeko.de/service/gemis/files/doku/g42-results_1.zip)
- Hirschberg S., PSI, 2003
(<http://lrs.epfl.ch/webdav/site/lrs/shared/Document/hirschberg2.pdf>)



Verdankung

Wir möchten uns bei Lukas Gutzwiller (BFE), Kurt Wiederkehr (VSE), Paolo Burlando (ETH Zürich), Andreas Zuberbühler (SATW), Christoph Ritz (ProClim–), Philipp Dietrich (PSI), Stefan Hirschberg (PSI), Robert Horbaty (Suisse Eole), Markus Real (Alpha Real AG), David Stickelberger (Swissolar), Hans-Christian Angele (BiomassEnergie), Jürg Buri (Energienstiftung Schweiz), 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).

SATW: Die SATW erhöht das Verständnis für die technischen Wissenschaften, fördert die Umsetzung von Forschungsergebnissen in volkswirtschaftliche Leistungen und vernetzt Fachleute der technischen Wissenschaften national und international untereinander und mit anderen Disziplinen (www.satw.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).