



Sources d'énergie: chiffres et faits

Utilisation, potentiel et risques en Suisse de différentes sources d'énergie



sc | nat ⁺

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

Contenu

Introduction.....	1
Remarques sur les différentes ressources	2
Explications concernant les colonnes des tableaux.....	4
Électricité	6
Chaleur.....	7
Carburant.....	8
Références	9



IMPRESSUM:

Editeur:

Académie des sciences naturelles suisse (SCNAT)

Schwarztorstrasse 9, 3007 Berne

Tél. +41 (0)31 310 40 20

Fax +41 (0)31 310 40 29

E-Mail: info@scnat.ch

Auteur et Rédaction:

ProClim– Forum for Climate and Global Change

Schwarztorstrasse 9, 3007 Berne

Tél. +41 (0)31 328 23 23

Fax +41 (0)31 328 23 20

E-Mail: neu@scnat.ch

Traduction: Jean-Claude Baltzinger, Anne Streiff

Layout: Olivia Zwygart

Photos: Christoph Ritz, Christoph Kull

Berne, mars 2007 (version 2)



Sources d'énergie: chiffres et faits

Utilisation, potentiel et risques en Suisse de différentes sources d'énergie

Auteur et rédaction: Urs Neu, ProClim-

Le document donne un aperçu des ordres de grandeur des données importantes (réserves, coûts, émissions, potentiels, etc.) pour les décideurs sur les principales sources d'énergie.

Il n'existe aucun rapport fournissant toutes ces données importantes pour les décideurs pour l'ensemble des sources d'énergie pour la Suisse. Il existe par contre de nombreuses études portant sur certains secteurs. La présente compilation tente de faire une synthèse à partir de la multitude d'études provenant d'institutions reconnues et d'opinions d'experts.

Diverses hypothèses et méthodes de calcul sont à la base des différentes études. Les valeurs trouvées dans la littérature ne sont par conséquent pas exactement comparables entre elles, toutefois elles donnent une

idée de l'ordre de grandeur et de la marge de fluctuation des chiffres recherchés. Pour tout de même pouvoir, dans une certaine mesure, les comparer on n'a pris en compte que les études qui satisfont à diverses conditions cadres (p. ex. analyses des émissions sur un «life cycle», voir les explications des colonnes ci-dessous). Ne peuvent donc être comparés que des ordres de grandeur, et non pas les limites quantitatives inférieures et supérieures. Au niveau des coûts, ne sont présentées que des comparaisons relatives. On consultera les études spécifiques pour avoir des données détaillées sur chacune des ressources.

Les analyses des différentes formes d'énergie (électricité, chaleur, transport) diffèrent, c'est la raison pour laquelle les coûts et les émissions entre les formes d'énergie ne sont pas comparables.



Remarques sur les différentes ressources

Charbon: de nos jours, le charbon n'a en Suisse qu'une importance relativement mineure, mais il pourrait à l'avenir regagner en importance sur le plan mondial car les réserves sont plus importantes que celles du pétrole et du gaz naturel. Le charbon est mieux réparti géographiquement et provient de régions politiquement plus stables. Le charbon pourrait en outre devenir moins cher à long terme que les autres ressources fossiles.

Pétrole: les réserves mondiales de pétrole sont évaluées de manières très diverses. Les réserves de pétrole sous forme difficilement exploitables (sables pétrolifères et schistes bitumineux) ont beau être importantes, leur exploitation coûtera très cher et, selon leur teneur, consommera beaucoup d'énergie. A long terme, les prix vont monter avec l'augmentation des besoins et la diminution des réserves. Les réserves facilement exploitables sont extrêmement concentrées géographiquement et se trouvent dans des régions politiquement instables.

Gaz naturel: les réserves de gaz naturel dureront un peu plus longtemps que les réserves de pétrole facilement accessibles. Dans l'ensemble, le gaz naturel produit moins d'émissions polluantes que le pétrole et le charbon, mais les émissions de CO₂ restent malgré tout encore très élevées. La plupart des réserves importantes pour l'Europe se trouvent sur le territoire de l'ancienne Union soviétique, et donc dans un secteur qui connaît une évolution politique instable. Les prix évoluent à peu près parallèlement à ceux du pétrole et continueront aussi d'augmenter à long terme.

Uranium: au rythme actuel de sa consommation, les réserves d'uranium peuvent tenir encore assez longtemps, mais elles ne sont pas illimitées et, avec le temps, ne seront encore exploitables qu'à des coûts élevés. L'énergie nucléaire produit très peu d'émissions de CO₂, mais les ressources actuelles ne permettent pas vraiment de forte extension au niveau mondial

des centrales nucléaires. Ceci ne serait possible qu'avec des réacteurs d'une nouvelle génération qui reste encore à développer avec une utilisation bien plus efficace des ressources. Ce qui exige encore d'énormes efforts et coûts de développement. Pour le problème des déchets, en Suisse, la faisabilité technique est en théorie démontrée, mais sa mise en pratique n'a pas encore de solution. L'acceptation politique de nouvelles centrales nucléaires est un gros point d'interrogation.

Énergie hydraulique: le potentiel de l'énergie hydraulique est en Suisse très largement épuisé, parfois aussi pour des raisons de protection du paysage. Il reste encore un certain potentiel dans le secteur des petites centrales ou des centrales au fil de l'eau. A long terme, la production d'électricité d'origine hydraulique pourrait diminuer en périodes sèches si le volume des glaciers diminue drastiquement. A l'avenir on s'attend d'une part en raison des modifications climatiques à une augmentation des précipitations en hiver et d'autre part à une augmentation des besoins en électricité pour la réfrigération en été et les pompes à chaleur en hiver. Les coûts de production d'électricité par les centrales existantes sont bas, mais les coûts de revient des installations récemment construites sont nettement plus élevés. En raison de la possibilité d'arrêt ou de mise en marche rapide des centrales à accumulation, il existe un potentiel élevé et stratégiquement important de pouvoir réguler à court terme l'ensemble du réseau européen.

Soleil: en cas d'augmentation de la demande et de nouveaux progrès techniques, on table sur une baisse des coûts de revient aujourd'hui encore très élevés de production de courant électrique. Considérée sur un «life cycle», la production de polluants associée à la production d'électricité par des cellules photovoltaïques est relativement élevée par rapport à d'autres énergies renouvelables, à cause de plus grandes besoins en matériel pour produire une unité d'énergie. Par contre, la production de CO₂ dans les centrales électriques héliothermiques est



nettement plus faible. La production irrégulière d'énergie est un inconvénient. Un fort potentiel réside par contre dans la production de chaleur locale à des coûts et avec des émissions polluantes relativement faibles. La construction de centrales électriques héliothermiques autour de la Méditerranée recèle un potentiel très élevé, ce qui cependant signifierait, une fois encore, une dépendance de l'étranger, mais tout de même dans des régions différentes.

Géothermie & chaleur environnante: si l'exploitation de la chaleur environnante (de l'air, de l'eau et surtout du sol) a un très grand potentiel et présente beaucoup d'avantages (disponible de manière pratiquement illimitée, dans le temps comme dans l'espace, source indigène, faible production de polluants), elle a toutefois l'inconvénient d'avoir besoin d'électricité pour sa production. La production de chaleur des profondeurs du sol (géothermie profonde), et la production d'électricité qui lui fait suite, ont un potentiel très élevé: indigène, propre, disponible de manière pratiquement illimitée. De gros efforts sont toutefois encore nécessaires pour développer des installations. La production d'électricité est surtout judicieuse en relation avec l'utilisation des grosses quantités de chaleur produite.

Vent: pour la production d'électricité à partir de parcs d'éoliennes, l'espace à disposition est en Suisse relativement limité. Pour une contribution notable à la fourniture d'énergie de nombreuses installations seraient nécessaires.

Bois & biomasse: le bois et la biomasse sont des sources d'énergie indigènes dont la taille est toutefois limitée et les émissions polluantes relativement élevées, surtout celles de NO_2 et de poussières fines. Les installations de filtration sont une condition à leur exploitation sur une plus large échelle. Les ressources existantes (surtout vieux bois, déchets) devraient être utilisées. Le potentiel de production de biomasse comme agent énergétique est limité en Suisse.

Biogaz: il en est pour le biogaz comme pour le bois, mais les émissions polluantes sont nettement moindres. Le méthane issu de la biomasse peut être produit à partir de déchets de bois et de biomasse liquide (lisier). Ce méthane peut être distribué et utilisé au travers des réseaux de distribution de gaz existants. Le potentiel du biogaz est en concurrence avec l'utilisation de la biomasse pour le chauffage (au lieu de la fermentation) et pour la production de biocarburant.

Déchets industriels & UIOM: le potentiel d'utilisation de l'incinération des ordures pour la production de chaleur et d'électricité est en Suisse déjà largement exploité.

Potentiel d'économies: il existe un potentiel considérable d'économies dans de nombreux domaines, surtout dans celui de l'isolation thermique et de l'efficacité énergétique des machines, moteurs, appareils électriques, etc. L'exploitation de ce potentiel requiert des investissements qui, grâce toutefois à une moindre consommation d'énergie, sont au moins partiellement compensés ou même dans certains cas surcompensés, aussi bien dans les machines que dans les véhicules. Le bilan au niveau des coûts est alors surtout positif si, dans le remplacement ou la fabrication de routine d'appareils, d'automobiles, etc. les standards techniques les plus élevés sont appliqués. C'est surtout la mise à niveau des appareils qui entraîne des coûts. A long terme, le plus efficace est l'imposition de normes très élevées à l'achat de nouveaux appareils.

Couplage chaleur-force: quelles que soient les agents énergétiques utilisés, il faut veiller à ce que, dans la production combinée d'électricité et de chaleur, la valorisation de l'énergie soit plus efficace, aussi bien dans les centrales électriques que dans les petites installations.



Explications concernant les colonnes des tableaux

Ressources: présentation des ressources énergétiques actuelles et futures de la Suisse.

Part de la consommation aujourd'hui: part (en %) de la consommation de la Suisse en 2005 (selon les statistiques de l'OFEN). Répartition du chauffage à distance (part de l'énergie-mix 1,8 %) à 50 % aux déchets industriels + UIOM et à 50 % au pétrole. Répartition de la production thermique d'électricité (5,4 % de la production d'électricité) à 50 % aux UIOM + déchets industriels et à 50 % au pétrole.

Réserves: durée de la couverture de la consommation actuelle par les réserves existantes dans le monde. Attention: en cas de forte augmentation de la consommation, cette durée sera raccourcie d'autant.

Sécurité d'approvisionnement: la sécurité d'approvisionnement prend en compte les facteurs suivants:

1. Disponibilité à court terme, c.-à-d. production d'énergie constante, ou stochastique (p. ex. en fonction du temps), ou qu'elle est en principe «libre» c.-à-d. utilisable rapidement selon les besoins. Elle influe sur la stabilité du réseau électrique (la production stochastique d'énergie en grande quantité requiert qu'elle soit contrebalancée par d'alimentation rapidement utilisable).
2. Pour quelle durée de consommation (sur la base de la consommation actuelle) les réserves en Suisse sont-elles emmagasinées?
3. Région de production (Suisse, importation, production dans – ou transport à travers – des régions politiquement instables).

La sécurité d'approvisionnement est surtout critique dans le secteur de l'électricité où les possibilités de stockage sont très faibles. Dans le secteur du chauffage, le fait que les ressources soient situées dans des zones géographiquement limitées a pour conséquence que des événements majeurs (catastrophes

naturelles, guerres, activités politiques) peuvent entraîner de grandes difficultés d'approvisionnement (plus forte est la concentration et plus grande est l'incertitude).

Coûts: indication des coûts pour la mise à disposition d'une quantité d'énergie sous forme utilisable équivalente à 1 kWh. Ces coûts dépendent entre autres de la forme de production (p. ex. pétrole de puits ou de schistes bitumeux, taille de la centrale). On a aussi tenu compte des variations de prix, des baisses de prix dues aux développements technologiques, ainsi que des hausses de prix dues à la raréfaction de la ressource. Les coûts doivent inclure l'intégralité du «life cycle» (coûts de revient), et donc l'extraction, le transport, la construction de la centrale, les coûts de production, l'élimination des déchets. Les coûts externes (comme p. ex. les coûts indirects liés aux polluants) ne sont pas compris dans les coûts.

Seulement des coûts relatifs comparés aux autres ressources sont représentés ainsi que le développement durant les décennies à venir (de gauche à droite). Quant à l'utilisation comparable rouge indique des coûts relativement élevés, bleu moyens et vert relativement bas.

Émission de polluants: donne la quantité de polluants émis par kWh d'énergie utilisée. Sont indiqués: le CO₂, les hydrocarbures, les oxydes d'azote, les particules et d'autres polluants importants éventuels. La quantité de polluants émis se rapporte à l'entier du «life cycle» (extraction, transport, construction de la centrale, incinération, élimination des déchets).

Les analyses du «life cycle» sont différentes pour les différentes formes d'énergie (électricité, chaleur, carburant) et les chiffres ne sont comparables que dans la même forme d'énergie (électricité: cycle jusqu'à l'alimentation au réseau; chaleur: cycle jusqu'au chauffage d'une salle; carburant: puissance du moteur).

Risques: risques techniques liés à la production, au transport (p. ex. fuites

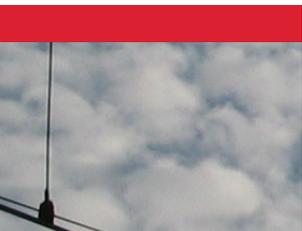


tes, effets sur l'environnement), à l'élimination des déchets (radioactivité, résidus toxiques, etc.) ainsi qu'aux risques pour l'environnement (pollution atmosphérique, émissions agissant sur le climat). L'adhésion politique fait aussi partie des risques liés à l'utilisation.

Contribution possible à l'approvisionnement énergétique en Suisse: on indique l'ordre de grandeur de la contribution possible absolue à l'approvisionnement énergétique futur en Suisse en 2020 et 2050 (en GWh). Cette indication est une estimation raisonnablement optimiste du potentiel. La part dans l'énergie-mix dépend de l'évolution de la demande. Les indications en % éventuelles sont converties en contributions énergétiques absolues.

Chances et potentiel: progrès possibles dans l'extraction de la ressource, possibilités de réduire les risques ou les émissions (p. ex. CO₂-capturing), possibilités d'utilisation dans d'autres systèmes de consommation. Possibilités de réduction des émissions de CO₂ par séquestration (fixation du CO₂ émis et stockage dans le sol) et coûts associés.

Urgence du point de vue scientifique: urgence à propos de cette ressource du point de vue scientifique en ce qui concerne les risques, la sécurité d'approvisionnement, nécessité de développer la recherche, etc.



Électricité

Ressources	Part actuel dans la consom. (%)	Réserves	Sécurité d'approvisionnement 1. Disponibilité 2. Possibilité stockage CH 3. Lieu de production	Coûts (aujourd'hui à gauche, futur à droite)	Émissions de polluants par kWh – GHG (équiv. CO ₂) – NOx – Particules (PM10)	Risques – Déchets – Risques pour l'environnement – Adhésion politique	Contribution possible à l'approvisionnement énergétique de la Suisse (en GWh) 2020/2050 Électricité 2005: env. 62'000	Chances et potentiel (y c. séquestration)	Besoin d'agir du point de vue scientifique
Charbon	< 0.1	> 200 ans	1. Libre 2. Semaines 3. Étranger / incertitude légère		– 800-1700 g CO ₂ – 500-1000 mg NOx – 50-150 mg PM10	– Émissions CO ₂ – Polluants atm. – Exploitation (accidents) – Attentat terroriste		– Filtres – Séquestration CO ₂	– Séparation du CO ₂ – Séquestration
Pétrole	2.7	40-90 ans	1. Libre 2. Mois 3. Étranger / grande incertitude		– 500-1200 g CO ₂ – 300-1200 mg NOx – 20-30 mg PM10	– Émissions CO ₂ – Polluants atmosphériques – Risques pour l'environnement lors du transport – Attentat terroriste		– Filtres – Séquestration CO ₂ – Découverte de nouvelles réserves – Amélioration des rendements	
Gaz naturel	< 0.1	60-130 ans (60 ans connus)	1. Libre 2. Jours 3. Étranger / incertitude mod. à grande		– 400-1000 g CO ₂ – 80-500 mg NOx – < 1 mg PM10	– Émissions CO ₂ – Polluants atmosphériques – Attentat terroriste	– Importé seulement – CE G+V – Couvre théoriquement tous les besoins – Disponibilité limitée à long terme	– CCF et pompes à chaleur à gaz	
Uranium	38	50-150 ans (50 connus)	1. Constante 2. Ans 3. Étranger / légère incertitude		– 5-50 g CO ₂ – 20-200 mg NOx – 1-30 mg PM10	– Risque GAU 10 ⁻⁵ -10 ⁻⁶ /par réacteur et année – Traitement des déchets – Adhésion politique – Attentat terroriste	– 2020: 22'000 – 2050: Couvre théoriquement tous les besoins – Disponibilité à long terme dépend des progrès techniques	– Nouvelle génération (génération IV) avec meilleur exploitation des ressources – Exploitation de la chaleur d'échappement	– Matériaux à haute température
Énergie hydraulique	56.5	Renouvelable	1. Parfois libre, parfois constante, limitée à long terme en cas de séch. 2. Mois 3. En Suisse	Petite centrale	– 4-40 g CO ₂ – 10-80 mg NOx – 15-60 mg PM10	– Eau résiduelle – Protection paysage – Attentat terroriste – Tremblement de terre	– 34000-37000 – Limitation à long terme en cas de longues périodes de sécheresse		– Effet de longues périodes sèches sans glaciers
Soleil	< 0.1	Renouvelable	1. Stochastique 2. Jours 3. En Suisse		– 40-150 g CO ₂ (PV) resp. 10-20 g CO ₂ (CE héliothermique) – 40-300 mg NOx – 60-120 mg PM10	– Substances toxiques dans la production de cellules PV (surtout F, partiellement As, Cd)	– 2005: 17 – PT: 30'000 – Réaliste 2020: 50-300 2050: 1000-5000	– kW héliothermiques importés du bassin méditerranéen	
Géothermie profonde	< 0.1	Renouvelable	1. Constante 2. Heures 3. En Suisse		– 20-60 g CO ₂	– Risques techniques – Dégagement de petits tremblements de terre lors de la construction	– 2050: 2000 – Très élevée à long terme	– Très grand potentiel – Coûts et faisabilité technique incertains – Exploitation de la chaleur d'échappement	– Exploration des aquifères profonds – Technique
Vent	< 0.1	Renouvelable	1. Stochastique 2. – 3. En Suisse / étranger		– 10-20 g CO ₂ – 40-70 mg NOx – 10-50 mg PM10	– Aspect du paysage	– 2005: 8– 2050: 1000-4000 (chiffre élevé requière des installations individuelles)		
Bois Biomasse	< 0.1	Renouvelable	1. Libre 2. Semaines 3. En Suisse		– 50-150 g CO ₂ – 1500-2500 mg NOx – 50-2000 mg PM10	– Émissions de particules et de NOx (bois) – Evtl. consommation d'eau	– 2020: 1000-2000 – 2050: 3000-4000	– Réduction des émissions par filtres à particules – CCF décentralisé	– Chaudière à condensation – Condensation des fumées
Biogaz	< 0.1	Renouvelable	1. Libre 2. Jours 3. En Suisse		– 10-11 g CO ₂ – 500-700 mg NOx – 30-50 mg PM 10	Insignifiant	– 2050: 5000 (Concurrent de l'essence)		
Déchets industriels + UIOM	2.7	Renouvelable	1. Constante 2. Semaines 3. En Suisse		N.A.	Insignifiant	– Aujourd'hui: 1300 – PT: 1600	– Potentiel presque épuisé – Meilleur degré d'efficacité	
Potentiel d'efficacité			Pas pertinent			Insignifiant	– Optim.-réalist. jusqu'à 2035: 10'000-15'000	– App. plus efficaces – CFF	

Ressources	Part actuel dans la consom. (%)	Réserves	Sécurité d'approvisionnement 1. Disponibilité 2. Possibilité stockage CH 3. Lieu de production	Coûts (aujourd'hui à gauche, futur à droite)	Émissions de polluants par kWh – GHG (équiv. CO ₂) – NOx – Particules (PM10)	Risques – Déchets – Risques pour l'environnement – Adhésion politique	Contribution possible à l'approvisionnement énergétique de la Suisse (en GWh) 2020/2050 Chaleur actuellement: 110'000	Chances et potentiel (y c. séquestration)	Besoin d'agir du point de vue scientifique
Charbon	1.4	> 200 ans	1. Libre 2. Semaines 3. Étranger / incertitude légère		– 400-700 g CO ₂ – 300-600 mg NOx – 200-1000 mg PM10	– Émissions CO ₂ – Polluants atmosphériques – Exploitation (accidents)	– Théoriquement grande – Importé seulement	– Filtres – Séquestration CO ₂	
Pétrole	58	40-90 ans	1. Libre 2. Mois 3. Étranger / grande incertitude		– 300-500 g CO ₂ – 200-500 mg NOx – 30-70 mg PM10	– Émissions CO ₂ – Polluants atmosphériques – Risques pour l'environnement lors du transport	– Importé seulement – Couvre théoriquement tous les besoins – Disponibilité limitée à long terme	– Filtres – Séquestration CO ₂ – Découverte de nouvelles réserves – Amélioration des rendements	
Gaz naturel	27	60-130 ans (60 ans connus)	1. Libre 2. Jours 3. Étranger / incertitude mod. à grande		– 200-400 g CO ₂ – 200-700 mg NOx – 5-20 mg PM10	– Émissions CO ₂ – Polluants atmosphériques	– Importé seulement – CE G+V – Couvre théoriquement tous les besoins – Disponibilité limitée à long terme		
Soleil	< 0.5	Renouvelable	1. Stochastique 2. Jours 3. En Suisse		– 5-30 g CO ₂ – 50-70 mg NOx	Insignifiant	– Aujourd'hui: 190 – PT: 20'000 – 2050: 3000-5000		
Chaleur environnante (pompes à chaleur)	1.4	Renouvelable	1. Constante 2. Heures/jours 3. En Suisse		– 3-50 g CO ₂ – 50-100 mg NOx	– Protection des eaux souterraines	– Aujourd'hui: 1000 – PT: 20'000 – 2050: 5000-10000 – Grande à long terme – Besoin de courant électr.		
Géothermie profonde	< 0.5	Renouvelable	1. Constante 2. Heures 3. En Suisse		– 1-10 g CO ₂	– Échangeurs de chaleur dans le sous-sol – Comportement à long terme – Dégagement de petits tremblements de terre lors de la construction	– 2050: 2000-10000 – Grande à long terme		– Exploration des aquifères profonds – Technique
Bois Biomasse	7	Renouvelable	1. Libre 2. Semaines 3. En Suisse		– 5-40 g CO ₂ – 100-700 mg NOx – 50-200 mg PM10	– Émissions de particules et de NOx (bois) – Evtl. consommation d'eau	– Aujourd'hui: 4000 – 2050: 5000-10000	– Gazéification → biogaz	– Chaudière à condensation – Condensation des fumées
Biogaz	< 0.5	Renouvelable	1. Libre 2. Jours 3. En Suisse	(CCF)	– 0.2 g CO ₂ – 400-1800 mg NOx – 1-100 mg PM10	Insignifiant	– Aujourd'hui: 600 – 2050: 5000 (CCF)		
Déchets industriels + UIOM	5	Renouvelable	1. Constante 2. Semaines 3. En Suisse		N.A.	Insignifiant	– Aujourd'hui: 2500 – Épuisé	– Exploitation de la chaleur d'échappement lors de la production d'électricité	
Potentiel d'efficacité			Pas pertinent		– 1-50 g	Insignifiant	– 20'000-40'000	– Isolation, minergie – Chauffages efficaces – Production efficace	

Abréviations

- CCF: couplage chaleur-force
- CO₂: gaz à effet de serre en équivalents de CO₂
- PT: potentiel technique
- CE: centrale électrique
- PV: photovoltaïque (cellules solaires)
- G+V: gaz et vapeur (installation à cycle combiné avec turbines à gaz et à vapeur)
- UIOM: Unité d'Incinération d'Ordures Ménagères

Code des couleurs

Ordre de grandeur des valeurs **positif**, **moyenne** ou **négatif**

Unités

Contributions énergétiques en GWh (1 GJ = 278 kWh, 1 PJ = 278 GWh)

Carburant

Ressources	Part actuel dans la consom. (%)	Réserves	Sécurité d'approvisionnement 1. Disponibilité 2. Possibilité stockage CH 3. Lieu de production	Coûts (aujourd'hui à gauche, futur à droite)	Émissions de polluants par kWh – GHG (équiv. CO ₂) – NOx – Particules (PM10)	Risques – Déchets – Risques pour l'environnement – Adhésion politique	Contribution possible à l'approvisionnement énergétique de la Suisse (en GWh) 2020/2050 Transport actuellement: 80'000	Chances et potentiel (y c. séquestration)	Besoin d'agir du point de vue scientifique
Charbon liquéfié	< 0.1	> 200 ans	1. Libre 2. Semaines 3. Étranger / incertitude légère		350-400 g CO ₂	– Émissions CO ₂ – Polluants atmosphériques – Exploitation (accidents)	– Remplaçant passager de pétrole		
Pétrole	99	40-90 ans	1. Libre 2. Mois 3. Étranger / grande incertitude		250-300 g CO ₂	– Émissions CO ₂ – Polluants atmosphériques – Risques pour l'environnement lors du transport	– Importé seulement – Couvre théoriquement tous les besoins – Disponibilité limitée à long terme	– Filtres – Découverte de nouvelles réserves – Amélioration des rendements	
Gaz naturel	< 0.5	60-130 ans (60 ans connus)	1. Libre 2. Jours 3. Étranger / incertitude mod. à grande		220-260 g CO ₂	– Émissions CO ₂ – Polluants atmosphériques	– 2020: 1% des véhicules au gaz naturel – grand potentiel de développement		
Biodiesel	< 0.5	Renouvelable	1. Libre 2. Semaines 3. En Suisse		50-200 g CO ₂	– Perte de biodiversité en cas de monocultures		– Potentiel domestique limité	– Chaudière à condensation – Condensation des fumées
Biogaz	< 0.5	Renouvelable	1. Libre 2. Jours 3. En Suisse	Selon le prix des déchets	5-10 g CO ₂	– Perte de biodiversité en cas de monocultures	– 1% des véhicules au gaz avec biogaz		
Potentiel d'efficacité			Pas pertinent			Insignifiant	– 20'000-30'000 – 3000-7000	– Moteurs et véhicules plus efficaces – Manière de conduire – Transports publics	

Code des couleurs

Ordre de grandeur des valeurs **positif**, **moyenne** ou **négatif**

Unités

Contributions énergétiques en GWh (1 GJ = 278 kWh, 1 PJ = 278 GWh)

Abréviations

CCF: couplage chaleur-force

CO₂: gaz à effet de serre en équivalents de CO₂

PT: potentiel technique

CE: centrale électrique

PV: photovoltaïque (cellules solaires)

G+V: gaz et vapeur (installation à cycle combiné avec turbines à gaz et à vapeur)

UIOM: Unité d'Incinération d'Ordures Ménagères

- 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: Plan de route: Energies renouvelables Suisse - Une analyse visant la valorisation des potentiels d'ici 2050. Rapport SATW N° 39, Académie suisse des sciences techniques SATW, Zurich.
- 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).



Remerciements

Nous remercions chaleureusement 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 (Gas naturel CH), Armin Heitzer (Swissoil), Andreas Keel (Energie-Bois Suisse), Leo Scherrer (Greenpeace) et Roland Wyss (Géothermie Suisse) pour les informations et les contributions aux discussions.

Informations brèves sur les institutions

SCNAT: L'Académie des sciences naturelles (SCNAT) encourage et met en réseau les sciences naturelles au niveau régional, national et international. Les accents de l'Académie sont la reconnaissance précoce des thèmes importants pour la société, l'éthique dans les sciences et le dialogue avec la société (www.scnat.ch).

ProClim–: ProClim– est le Forum suisse de la SCNAT pour le climat et les changements environnementaux globaux. Son but est un soutien des échanges de connaissance dans la recherche et entre la recherche, les dirigeants et la société (www.proclim.ch).