

## Atomenergie in der Schweiz

Nach den Erdbeben in Japan und dem anschliessenden Reaktorunfall in Fukushima entflammte die Diskussion um die Atomenergie in der Schweiz erneut. Am 25. Mai 2011 gab der Bundesrat den Austritt aus der Atomenergie bekannt. Es werden keine neuen Atomkraftwerke gebaut. Die Fragen bleiben offen, wie schnell der Ausstieg gelingt und wie die zukünftige Stromversorgung aussehen soll.

Dieser Text gibt einen kurzen Überblick über die aktuelle Situation und schätzt die Potenziale von Strom sparen, Stromimport und eigene Stromerzeugung durch erneuerbare Ressourcen im Gegensatz zur Atomenergie ab.

### Aktuelle Situation

Der Stromverbrauch der Schweiz ist in den letzten Jahren gewachsen. Seit 1950 hat sich der Verbrauch mehr als verdreifacht.

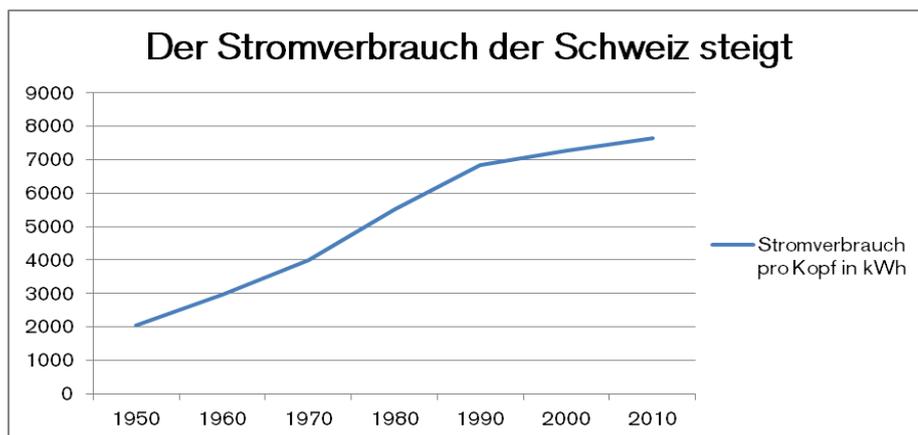


Abbildung 1: Schweizer Stromverbrauch pro Kopf in kWh

Momentan produzieren in der Schweiz fünf Atomkraftwerke (AKWs) etwa 40% des Schweizer Strombedarfs. Weitere 10% importiert die Schweiz aus Frankreich. Zwischen 2019 (Mühleberg evtl. schon 2013) und 2034 sollen alle fünf AKWs vom Netz gehen. Gleichzeitig laufen die Stromimport-Verträge mit Frankreich 2020 aus. Zu-

sammen machen diese Stromquellen 50% des Schweizer Strombedarfs aus.

Es gibt verschiedene Prognosen für den zukünftigen Stromverbrauch. Studien der Axpo gehen von zwei Szenarien aus. Einerseits soll der Stromverbrauch auch in Zukunft ansteigen. Andererseits könne der Stromverbrauch mit Strom sparen und effizienterer Stromnutzung auf dem heutigen Niveau gehalten werden. Allerdings gibt es zu diesen Szenarien Gegenstimmen, die es für durchaus realistisch halten, dass der Stromverbrauch gesenkt werden kann. Beide Studien vernachlässigen die volkswirtschaftliche Diskussion, dass durch weniger Stromangebot die Preise steigen und damit automatisch weniger verbraucht würde.

Zu welchem Zeitpunkt der Atomenergie-Ausstieg möglich ist, hängt vom Potenzial anderer Stromquellen sowie Strom sparen ab. Es können aber keine

eindeutigen Prognosen über den zukünftigen Stromverbrauch gemacht werden. Deshalb wird lediglich untersucht, ob der Produktions- & Importausfall von 50% des Strombedarfs durch andere Möglichkeiten ersetzt werden können, sei es durch eigene Stromproduktion, Stromimport oder durch Stromeinsparung.

### Zusammenfassung

Heute erzeugen fünf Schweizer Atomkraftwerke 40% des schweizerischen Stroms. Alle müssen zwischen 2019 (Mühleberg evtl. schon 2013) und 2034 altersbedingt abgeschaltet werden.

Der dadurch entstehende Produktionsausfall kann vorerst noch nicht vollständig durch einen geringeren Stromverbrauch allein ersetzt werden. Die Schweiz muss daher auf andere Stromquellen wie Stromimport oder eigene Stromerzeugung zurückgreifen.

Neben anderen Varianten besteht die Möglichkeit, Anlagen für die Stromproduktion mit erneuerbaren Ressourcen zu bauen.

Diskutiert wird in dieser Hinsicht, ob die technischen Mittel heute schon zur Verfügung stehen, damit erneuerbare Energien mit Hilfe von konsequentem Strom sparen die Produktionskapazität der heutigen AKWs ersetzen können.

Im Vergleich zu alternativen Energiequellen hat Atomenergie insbesondere folgende Vorteile: tiefe Produktionskosten (ohne Berücksichtigung der externen Kosten) sowie eine hohe Versorgungssicherheit.

Gleichzeitig könnten jedoch bei der Nutzung der Atomenergie und der Lagerung der radioaktiven Abfälle enorme Schäden entstehen, die je nach Ausmass nicht vollständig gedeckt wären.

### Strom sparen

Gemäss einer Studie von Schweizer Umweltverbänden würde ein konsequenter Einsatz von bereits verfügbaren Technologien den Stromverbrauch bis 2050 um 40% reduzieren. Laut BFE könnte der Elektrizitätsverbrauch bis 2035 um bis zu 13% gesenkt werden. (mehr dazu im Text „Energiesparpotenziale der Schweiz“). Damit kommen verschiedene Studien zum Schluss, dass eine Reduktion des Stromverbrauchs

alleine noch nicht die Menge einspart, die heute durch die AKWs bereitgestellt wird.

Deshalb muss vorerst das Angebot mit anderen Stromquellen erhöht werden. Diese kann durch Stromimport und/oder eigene Stromerzeugung erfolgen.

## Stromimport

Experten gehen davon aus, dass Strom in Zukunft nicht mehr so günstig wie heute importiert werden kann. Die Lieferanten müssen durch die Teilliberalisierung des Strommarktes den Strom nicht mehr so günstig anbieten und schöpfen deshalb die gesamte Gewinnmarge ab. Die Gegner der Atomenergie gehen davon aus, dass Windenergie aus dem Norden, allerdings auch zu einem höheren Preis, importiert werden könnte (mehr dazu im Text „Zukünftige Stromversorgung der Schweiz“).

## Eigene Stromerzeugung

Im Folgenden werden die Kosten, die Umweltbelastung und die Versorgungssicherheit der erneuerbaren Energien und der AKWs betrachtet. Dabei werden jeweils die Vor- und Nachteile über den ganzen Lebenszyklus der Energieerzeugung berücksichtigt. Andere Stromproduktionsmöglichkeiten wie Gaskraftwerke werden an dieser Stelle nicht behandelt. In der Tabelle finden Sie eine Vergleichsmöglichkeit von den im Text behandelten Fakten.

Windkraftwerken, Solarenergie (Photovoltaik) und effizienter Nutzung von Abwärme aus. Hier hat die Schweiz noch Ausbaupotenzial.

### Direkte Kosten

Die Baukosten von Produktionen mit erneuerbaren Energien (ausgenommen die Wasserkraftwerke) sind im Gegensatz zu AKWs sehr gering. Bei Windkraftanlagen mit Leistung im Megawattbereich rechnet man mit Baukosten von ungefähr 1000 – 1500 CHF pro Kilowattstunde (kWh). Erneuerbare Energien verbrauchen zudem keine beschränkten Ressourcen. Einzig für den Bau der Anlagen werden endliche Ressourcen benötigt. Auch fallen deshalb praktisch keine Entsorgungskosten an. Die Versicherung bei der Produktionskosten-Berechnung fällt nicht so hoch ins Gewicht wie bei den AKWs, da die Stromerzeugung mit erneuerbaren Ressourcen im Gegensatz zu Kernkraftwerken sehr sicher ist.

Die Produktionskosten (ohne externe Kosten wie Umweltbelastung, gesundheitliche Auswirkungen etc.) belaufen sich mit Einberechnung der bisher genannten Aufwände auf 7,5 – 33 Rp./kWh bei Windkraftwerken, auf 40 – 60 Rp./kWh bei Solarstrom (Photovoltaik) und auf 9,5 – 25 Rp./kWh bei Geothermik. Die im Vergleich zu den AKWs hohen Kosten fallen an, da die Produktion noch sehr aufwändig ist. Insbesondere die Umweltverbände gehen aber davon aus, dass die Produktionskosten von erneuerbaren Energien

Scherrer Institut auf 4g CO<sub>2</sub>/kWh, bei der Windkraft auf 14g CO<sub>2</sub>/kWh und bei der Solarenergie auf 38g CO<sub>2</sub>/kWh. Das weitere Umweltrisiko ist aber im Vergleich zu den AKW sehr klein.

### Versorgungssicherheit

Stromproduktion mit erneuerbaren Ressourcen hat einen Nachteil gegenüber der Atomenergie. Sie ist abhängig von der Sonneneinstrahlung und anderen Wettereinflüssen. So wird in der Nacht kein Strom erzeugt. Dafür wird zur Mittagszeit, wenn alle kochen, am meisten produziert. Zurzeit ist noch nicht klar, ob erneuerbare Energien das Produktionsvolumen der AKWs ersetzen können. Gerade dies ist aber der zentrale Punkt in der Debatte. Atomstromgegner sind jedoch überzeugt, dass mit Hilfe von konsequentem Strom sparen die heutige Technologie soweit fortgeschritten ist, dass Strom aus erneuerbare Ressourcen in Zukunft AKWs ersetzen könnten.

## Atomkraftwerke

### Direkte Kosten

Der Bau eines AKWs kostet rund CHF 7-10 Mrd. Damit sind die Investitionskosten im Vergleich zu anderen Kraftwerkstypen hoch. Hinzu kommt, dass heute Uran zwar noch relativ günstig ist, dessen Preis aber langfristig mit zunehmender Knappheit stark ansteigen wird. Dies würde auch die Kosten für Atomstrom erhöhen. AKW-Befürworter hingegen wenden ein, dass Uran heute nur ca. 5% der Produktionskosten von

	Atomenergie	Geothermie	Solarenergie	Wasserkraft	Windkraft
<b>Kosten pro kWh</b>	4 - 12 Rp.	9.5 - 25 Rp.	40 - 60 Rp.	5 - 25 Rp.	7.5 - 33 Rp.
<b>CO2 - Ausstoss pro kWh</b>	8 - 11g*/60g**	***	38g	4g	14g

\* gem. Paul Scherrer Institut

\*\* weltweiter Durchschnitt

\*\*\* keine Angaben zur Schweiz

Tabelle 1: Kosten und CO2-Ausstoss von Atomkraft und erneuerbaren Energien

## Erneuerbare Energien

Die Schweiz hat im internationalen Vergleich einen hohen Anteil an erneuerbaren Energien in der Stromproduktion. So machen die Wasserkraftwerke rund 55% der Stromerzeugung aus. Allerdings sind die Standorte, die am meisten und effizientesten Strom erzeugen, schon verbaut. Anders sieht es mit

dank technologischen Fortschritten und grösseren Anlagen künftig gesenkt werden können.

### Umweltbelastung & -gefahren

Obwohl sich die erneuerbaren Energien auf unendliche Ressourcen beziehen, sind auch sie nicht vollständig CO<sub>2</sub> frei. Allein die Herstellung der Anlagen setzt CO<sub>2</sub> frei. Bei der Wasserkraft beläuft sich der Ausstoss nach dem Paul

Atomstrom ausmacht. Entsprechend würde eine Verdoppelung des heutigen Uranpreises nur zu einem 5% höheren Strompreis führen.

Auch fallen bei AKWs höhere Entsorgungskosten als bei der Produktion mit erneuerbaren Energien an. Für die Entsorgung der Abfälle der Atomstromgewinnung wird pro Kilowattstunde (kWh) 1 Rp. verrechnet. Allerdings finden

Gegner diese Berechnung viel zu tief angesetzt, da die ganzen Kosten der Umweltschädigung, wie auch zukünftige Schäden auf den Menschen (= externe Kosten/Effekte) nicht eingerechnet wurden.

Schliesslich fällt bei AKWs eine hohe Versicherung an. Die Betreiber der Kernkraftwerke müssen heute gemäss Gesetz eine Haftpflichtversicherung abschliessen, die bei einem Unfall Schäden in der Höhe von bis zu CHF 1,8 Mrd. deckt. Die entsprechende Versicherungsprämie ist ebenfalls Teil der Produktionskosten von Atomenergie.

Zählt man die Kosten über den gesamten Lebenszyklus, d.h. vom Abbau von Uran bis hin zur Entsorgung zusammen, gehört Atomenergie zurzeit je nach Berechnungen zu den günstigsten Arten der Stromproduktion. Wie teuer Atomstrom genau ist, hängt dabei stark von den Berechnungsannahmen ab. Die Axpo geht von Produktionskosten von 4 - 5,5 Rp./kWh aus. Greenpeace verweist allerdings auf wissenschaftliche Studien von ausländischen Universitäten, die von Produktionskosten bis zu 12 Rp./kWh ausgehen. Bei diesem Preisvergleich ist allerdings zu beachten, dass hier nur Kosten berücksichtigt sind, die der Stromproduzent auch tatsächlich bezahlen muss. Alle Kosten aus externen Effekten sind nicht mitberücksichtigt.

## Umweltbelastung & -gefahren

Auch die Stromproduktion mit AKWs ist nicht CO<sub>2</sub> frei. Zwar ist die Produktion selbst tatsächlich frei von Ausstössen, der Abbau von Uran wie auch der Bau der Anlage setzen aber CO<sub>2</sub> frei. Die Berechnungen der Experten gehen dabei weit auseinander. Das Paul Scherrer Institut rechnet mit 8 – 11g CO<sub>2</sub>/kWh, die Stormsmith Studie mit etwa 125g CO<sub>2</sub>/kWh und weltweit wird von einem Schnitt von etwa 60g CO<sub>2</sub>/kWh ausgegangen. Da mit weniger Uranvorkommen der Abbaufwand in Zukunft zunimmt, muss man langfristig mit einem höheren CO<sub>2</sub>-Ausstoss rechnen.

Trotzdem produzieren sowohl Atomenergie als auch erneuerbare Energien im Vergleich zu fossilen Energieträgern wie Erdöl bis zu 80 Mal und im Vergleich zu Erdgas bis zu 60 Mal weniger CO<sub>2</sub>. Es gibt allerdings auch hier teilweise grössere Unterschiede zwischen verschiedenen Studien.

AKWs bergen aber hohe Risiken. Bei der Produktion von Atomenergie könnten radioaktive Stoffe austreten oder es könnte sogar zu einer Kernschmelze mit sehr weitreichenden und einschneidenden Folgen kommen. Der Schaden, der bei einem solchen Unfall entsteht, kann extrem gross sein und ist kaum zu beziffern. Als Beispiel seien die Katastrophen in Tschernobyl oder in Fukushima angeführt. In der Schweiz kam es zuletzt 1969 zu einer Kernschmelze. Die Radioaktivität blieb zwar örtlich beschränkt, die Aufräumarbeiten dauerten aber bis 1973 bzw. 2003 an.

Wie bereits erwähnt, gilt die gesetzliche Risikoversicherung nur für Schäden bis zu CHF 1,8 Mrd. Weil die Schäden bei einem grossen Unfall weit höher sein könnten, stellen die nicht gedeckten Schäden ebenfalls externe Kosten dar und müssten schlussendlich von den Bürgern bzw. vom Staat selbst getragen werden. Die AKW-Befürworter betonen jedoch, dass durch die hohen Sicherheitsstandards und die neusten Atomkraftwerkstypen das Risiko für Unfälle minimal sei.

Ein weiteres Risiko birgt die Entsorgung. Bei der Produktion von Atomenergie entstehen radioaktive Abfälle. Da diese nach heutigem Wissen bis zu 100'000 Jahren strahlen, könnten durch die Abfälle Schäden entstehen, die ebenfalls nicht vollständig gedeckt wären. Jedoch können technische Entwicklungen noch nicht abgeschätzt werden, die die Lagerungszeit verringern würden. Zurzeit ist aber noch von 100'000 Jahren auszugehen, auch wenn dies rein rechnerisch ein zu grosser Zeitraum ist, um alles abzuschätzen.

## Versorgungssicherheit

Der öffentliche Verkehr, die Industrie oder auch die Spitäler sind besonders

## Einfach erklärt

### Entsorgung radioaktiver Abfälle

Das Kernenergiegesetz verankerte das Verursacherprinzip, wonach die AKW für Kosten der Entsorgung in geologischen Tiefenlagern aufkommen müssen. Die zu entsorgende Gesamtmenge beträgt rund 100'000 m<sup>3</sup>. Die NAGRA ist momentan damit beauftragt geeignete Tiefenlager in der Schweiz zu finden. Folgende Gebiete kommen gemäss der NAGRA in Betracht: Jura-Südfuss, Zürcher Weinland, Bözberg, Nördlich Lägeren und Wellenberg. Dieser Prozess dauert bis 2016 an. Die früheste Inbetriebnahme dieser Lager ist für mittelaktive Abfälle auf 2030 und für hochaktive Abfälle auf 2040 geplant.

stark auf eine konstante und sichere Stromversorgung angewiesen. Um die Atomenergie diesbezüglich mit anderen Formen der Stromproduktion zu vergleichen, muss man zwischen kurzfristiger und langfristiger Versorgungssicherheit unterscheiden. Da die Brennstäbe für die AKWs bis zu 2 Jahre lang gelagert werden können, weist Atomenergie in diesem kurzfristigen Zeitfenster eine sehr hohe Versorgungssicherheit auf. Im Gegensatz zu Sonnen-, Wasser- oder Windenergie ist Atomenergie z.B. nicht von schwankenden Umweltzuständen wie Sonnenlicht oder Niederschlägen abhängig. Auch Lieferausfälle (z.B. wegen politischen Unruhen im Herkunftsland) können so im Gegensatz zu beispielsweise Erdgas länger überbrückt werden. Längerfristig ist die Schweiz aber auch bei der Nutzung der Atomenergie auf Uranlieferungen aus dem Ausland angewiesen.

## Fazit und Ausblick

Die Schweiz muss die Frage lösen, wie sie die Produktionskapazität der ausfallenden AKWs ersetzen will. Wann der Ausstieg aus dem Atomstrom gelingt, hängt vom Potenzial und den Kosten anderer Stromquellen ab. Bis dahin bleibt die Frage ungeklärt, ob der Stromausfall gänzlich durch erneuerbare Energien gedeckt werden kann und soll.

## Literaturverzeichnis:

- Axpo (2010). *Stromperspektiven 2020 – neue Erkenntnisse*. Gefunden am 11. Dezember 2010 unter [http://www.axpo.ch/content/dam/axpo/de/Startseite/Medien/Downloads/100906\\_Axpo\\_Brosch%C3%BCre\\_Stromperspektiven\\_dt.pdf](http://www.axpo.ch/content/dam/axpo/de/Startseite/Medien/Downloads/100906_Axpo_Brosch%C3%BCre_Stromperspektiven_dt.pdf)
- Bundesamt für Energie BFE (2012). *Stromversorgung*. Gefunden am 11. Juni 2012 unter [http://www.bfe.admin.ch/themen/00612/index.html?lang=de&dossier\\_id=05024](http://www.bfe.admin.ch/themen/00612/index.html?lang=de&dossier_id=05024)
- Bundesamt für Energie BFE (2010). *Elektrizitätsstatistik*. Gefunden am 11. Dezember 2010 unter [http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00542/00630/index.html?lang=de&dossier\\_id=00765](http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00542/00630/index.html?lang=de&dossier_id=00765)
- Bundesamt für Energie BFE (2010). *Radioaktive Abfälle*. Gefunden am 11. Dezember 2010 unter <http://www.bfe.admin.ch/radioaktiveabfaelle/index.html?lang=de>
- Bundesamt für Energie BFE (2009). *Kernenergie*. Gefunden am 11. Dezember 2010 unter <http://www.bfe.admin.ch/themen/00511/index.html?lang=de>
- Bundesamt für Energie BFE (2009). *Kernenergiehaftpflichtgesetz KHG*. Gefunden am 11. Dezember 2010 unter <http://www.bfe.admin.ch/themen/00544/00547/index.html?lang=de>
- Bundesamt für Energie BFE (2008). *Energieperspektiven*. Gefunden am 11. Dezember 2010 unter [http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00538/index.html?lang=de&dossier\\_id=01100](http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00538/index.html?lang=de&dossier_id=01100)
- Ellispon AG (2006). *Energieperspektive 2050 der Umweltorganisationen*. Studie im Auftrag von Greenpeace Schweiz, Schweizerische Energienstiftung, Verkehrsclub der Schweiz und WWF Schweiz. Gefunden am 11. Dezember 2010 unter [http://www.greenpeace.org/switzerland/Global/switzerland/de/publication/ClimateChange/2006\\_Stu\\_EnergieperspLang.pdf](http://www.greenpeace.org/switzerland/Global/switzerland/de/publication/ClimateChange/2006_Stu_EnergieperspLang.pdf)
- Energie-Agentur der Wirtschaft EnAW (2012). *Stromeffizienz der Schweizer Wirtschaft – Auswertung und Szenarien aus der Erfahrung der EnAW*. Gefunden am 11. Juni 2012 unter [http://www.enaw.ch/files/Medienmitteilungen/Stromeffizienz%20der%20Schweizer%20Wirtschaft\\_D.pdf](http://www.enaw.ch/files/Medienmitteilungen/Stromeffizienz%20der%20Schweizer%20Wirtschaft_D.pdf)
- Greenpeace (2010). *Unterlagen und Informationen zum Thema Atom*. Gefunden am 11. Dezember 2010 unter <http://www.greenpeace.org/switzerland/de/Publikationen/Reports-Atom/>
- Greenpeace (2008). *Kernhaftpflichtgesetz – Nationalrat nimmt Verantwortung nicht wahr*. Gefunden am 11. Dezember 2010 unter <http://www.greenpeace.org/switzerland/de/Uber-uns/Medienstelle/News/nuclear/kernenergiehaftpflichtgesetz-nationalrat-nimmt-verantwortung-nicht-wahr/>
- Immergenugstrom.ch (2009). *Wie funktionieren Gaskombikraftwerke?* Gefunden am 11. Dezember 2010 unter <http://www.immergenugstrom.ch/videos/wie-funktionieren-gaskombikraftwerke>
- Kassensturz (2007). *Atomdebatte: Warum auch AKWs dem Klima schaden*. Gefunden am 11. Dezember 2010 unter <http://www.kassensturz.sf.tv/Nachrichten/Archiv/2007/03/06/kassensturzsendungsartikel/Atomdebatte-Warum-auch-AKWs-dem-Klima-schaden>
- NAGRA (2008). *Kosten*. Gefunden am 11. Dezember 2010 unter [http://www.nagra.ch/g3.cms/s\\_page/81190/s\\_name/kosten](http://www.nagra.ch/g3.cms/s_page/81190/s_name/kosten)
- Neue Zürcher Zeitung NZZ (2008). *Unterschiedliche Interessen beim Stromimport*. Gefunden am 11. Dezember 2010 unter [http://www.nzz.ch/nachrichten/politik/schweiz/strommarkt\\_liberalisierung\\_preispolitik/strommarkt\\_schweiz\\_liberalisierung\\_und\\_preispolitik/unterschiedliche\\_interessen\\_bei\\_stromimport\\_1.1431939.html](http://www.nzz.ch/nachrichten/politik/schweiz/strommarkt_liberalisierung_preispolitik/strommarkt_schweiz_liberalisierung_und_preispolitik/unterschiedliche_interessen_bei_stromimport_1.1431939.html)
- Neue Zürcher Zeitung NZZ (2008). *Unterschiedliche Der lange Weg zum Kraftwerk*. Gefunden am 11. Dezember 2010 unter [http://www.nzz.ch/nachrichten/politik/schweiz/startschuss\\_fuer\\_zwei\\_neue\\_akw\\_1.1329926.html](http://www.nzz.ch/nachrichten/politik/schweiz/startschuss_fuer_zwei_neue_akw_1.1329926.html)
- Schweizerische Energiestiftung SES (2008). *Neue AKW*. Gefunden am 11. Dezember 2010 unter <http://www.energiestiftung.ch/energiethemen/energiepolitik/schweizerstrompolitik/neueakw/>
- Swissnuclear (2010). *Atomkraftwerke schonen Klima und Umwelt*. Gefunden am 11. Dezember 2010 unter <http://www.kernenergie.ch/de/klimaschutz.html>
- Tagesanzeiger (2010). *Bundesrat sagt Ja zu umstrittenem Gaskraftwerk*. Gefunden am 11. Dezember 2010 unter <http://www.tagesanzeiger.ch/schweiz/standard/Bundesrat-sagt-Ja-zu-umstrittenem-Gaskraftwerk-/story/20614252>
- WWF (2010). *Energiepolitik der Schweiz*. Gefunden am 11. Dezember 2010 unter <http://www.wwf.ch/de/derwwf/themen/klima/klimapolitik/energiepolitikschweiz/index.cfm>