

# Die Energiewende

Der Einstieg in ein neues Energiezeitalter



Ist die Energiewende in der Schweiz bis  
im Jahr 2050 möglich?

Fiona Gröflin, 1998, 5D

Gymnasium am Münsterplatz Basel

Betreuungslehrperson: Urban Hügin

Koreferentin: Esther Felder

17/10/2016

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>Vorwort.....</b>	<b>4</b>
<b>1. Einleitung .....</b>	<b>4</b>
<b>2. Theorieteil .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Energie .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 Energieträger .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2.1 Erdöl .....</b>	<b>6</b>
<b>2.3.2 Erdgas.....</b>	<b>8</b>
<b>2.3.3 Kohle .....</b>	<b>9</b>
<b>2.4 Nukleare Energieträger .....</b>	<b>10</b>
<b>2.4.2 Energiegewinnung durch Kernenergie.....</b>	<b>11</b>
<b>2.5 Erneuerbare Energien .....</b>	<b>14</b>
<b>2.5.1 Primärenergiequellen .....</b>	<b>15</b>
<b>2.5.2 Sonnenenergie.....</b>	<b>16</b>
<b>2.5.3 Solarenergie .....</b>	<b>16</b>
<b>2.5.4 Biomasse .....</b>	<b>17</b>
<b>2.5.5 Windkraft .....</b>	<b>18</b>
<b>2.5.6 Wasserkraft .....</b>	<b>19</b>
<b>2.5.7 Gravitation der Planeten.....</b>	<b>20</b>
<b>2.5.8 Gezeitenkraftwerk .....</b>	<b>21</b>
<b>2.5.9 Isotopenzerfall.....</b>	<b>21</b>
<b>2.5.10 Geothermie .....</b>	<b>22</b>
<b>2.6 Ist-Zustand .....</b>	<b>22</b>
<b>2.6.1 Energieverbrauch total .....</b>	<b>22</b>
<b>2.6.2 Elektrizitätsproduktion .....</b>	<b>24</b>

<b>3. Hypothesen .....</b>	<b>25</b>
<b>4. Methodik des praktischen Teils .....</b>	<b>25</b>
<b>5. Ergebnisse .....</b>	<b>28</b>
<b>5.1 Die drei Szenarien.....</b>	<b>29</b>
<b>5.2 Das Trendszenario .....</b>	<b>29</b>
<b>5.3 Das positive Zukunftsszenario.....</b>	<b>34</b>
<b>5.4 Das negative Zukunftsszenario .....</b>	<b>42</b>
<b>5.5 Strategien und Massnahmen zur Umsetzung .....</b>	<b>46</b>
<b>5.5.1 Energieeffizienz .....</b>	<b>46</b>
<b>5.5.2 Erneuerbare Energien .....</b>	<b>48</b>
<b>5.5.3 Energieabgaben .....</b>	<b>49</b>
<b>5.5.4 Fossile Kraftwerke .....</b>	<b>49</b>
<b>5.5.5 Soziale Komponente .....</b>	<b>49</b>
<b>5.6 Fazit.....</b>	<b>50</b>
<b>6. Zusammenfassung.....</b>	<b>51</b>
<b>7. Schlusswort .....</b>	<b>53</b>
<b>8. Quellen- und Literaturangaben (Bibliographie).....</b>	<b>55</b>
<b>9. Anhang.....</b>	<b>58</b>

## **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Endenergieverbrauch in erneuerbarer und nicht erneuerbarer Anteil aufgeteilt.....	23
Abbildung 2: Erneuerbare Anteile am schweizerischen Endenergieverbrauch im Jahr 2014 .....	24
Abbildung 3: Szenariotrichter .....	26
Abbildung 4: Erneuerbarer und nicht erneuerbarer Anteil aller drei Szenarien am Endverbrauch im Jahr 2050 .....	52

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Vernetzungsmatrix.....	29
Tabelle 2: Rahmendaten des Trendszenarios .....	30
Tabelle 3: Politische und wirtschaftliche Rahmendaten des Trendszenarios .....	30
Tabelle 4: Endenergieverbrauch des Trendszenarios.....	31
Tabelle 5: Endenergieverbrauch nach Sektoren im Trendszenario .....	32
Tabelle 6: Elektrizitätsverbrauch des Trendszenarios.....	33
Tabelle 7: Rahmendaten des positiven Szenarios .....	35
Tabelle 8: Politische und wirtschaftliche Rahmendaten des positiven Szenarios .....	36
Tabelle 9: Endenergieverbrauch des positiven Szenarios .....	36
Tabelle 10: Endenergieverbrauch nach Sektoren im positiven Szenario.....	40
Tabelle 11: Elektrizitätsverbrauch des positiven Szenarios .....	40
Tabelle 12: Rahmendaten des negativen Szenarios.....	42
Tabelle 13: Politische und wirtschaftliche Rahmendaten des negativen Szenarios..	43
Tabelle 14: Endenergieverbrauch des negativen Szenarios .....	43
Tabelle 15: Endenergieverbrauch nach Sektoren im negativen Szenario .....	44
Tabelle 16: Elektrizitätsverbrauch des negativen Szenarios .....	45

## **Vorwort**

Vor 30 Jahren explodierte in Tschernobyl am Lenin-Kernkraftwerk Reaktor 4, während dieses in vollem Betrieb war. Ein nicht für möglich gehaltener Super-GAU ist eingetreten. 135'000 Menschen mussten umgesiedelt werden, weitere 300'000 schlossen sich an. Aus der regionalen Katastrophe wurde schnell ein globales Problem. Noch heute leiden Bewohner in den betroffenen Regionen in der Ukraine und in Weissrussland an den Folgen der Verseuchungen. Genaue Zahlen der Toten sind schwer zu ermitteln, die Krankenakten werden unter Verschluss gehalten und stehen behandelnden Ärzten nicht zur Verfügung. Man geht davon aus, dass mehr als 50'000 Liquidatoren, also Männer, die mit den Aufräumarbeiten des Sarkophags beschäftigt waren, gestorben sind. Erkrankungen der Schilddrüse und eine Krebsrate, die 30 mal so hoch ist wie die vor der Katastrophe, sind weitere Folgen.<sup>1</sup>

Und genau an dieser Stelle frage ich mich, was haben wir daraus gelernt? So wie es scheint nicht viel. Wir beziehen immer noch Atomstrom aus lokalen Kernkraftwerken. Und wieder frage ich mich: Wieso? Sind wir wirklich auf den gefährlichen Atomstrom angewiesen oder sind wir einfach zu faul, um etwas zu verändern?

Genau solche Fragen schossen mir durch den Kopf und es kam dazu, dass ich beschloss, meine Maturarbeit über die Energiewende zu schreiben.

An dieser Stelle möchte ich mich bei Herr Urban Hügin, meiner Betreuungslehrperson und bei Frau Esther Felder, meiner Koreferentin für ihre Unterstützung bedanken. Des Weiteren möchte ich mich bei Herr Hannes Weigt, welcher so nett war, mit mir ein Interview zu führen, bedanken.

## **1. Einleitung**

Ich möchte mit dieser Arbeit zeigen, dass die Schweiz einen Weg ohne Atomstrom gehen kann und dies bis im Jahr 2050. Anhand der Szenariotechnik werden drei Szenarien erstellt, die Veränderungen bis im Jahr 2050 aufzeigen. Eines ist das sogenannte Trendszenario, es beschreibt die Zukunft mit einer gleichen Entwicklung wie bisher. Die anderen beiden Szenarien sind sogenannte Extremszenarien, ein positives und ein negatives. Das positive Szenario beschreibt den besten Fall, also den Weg der Nachhaltigkeit. Das negative Szenario stellt eine Entwicklung dar, in der wir uns nicht direkt in Richtung „erneuerbar“ begeben, also gegenteilig.

---

<sup>1</sup> Planet Wissen: [http://www.planet-wissen.de/technik/atomkraft/das\\_reaktionsglueck\\_von\\_tschernobyl/index.html](http://www.planet-wissen.de/technik/atomkraft/das_reaktionsglueck_von_tschernobyl/index.html) (12.08.16)

Der theoretische Teil, der dem praktischen vorangeht, wurde nach Energieträgern gegliedert. Zuerst die fossilen, darauf die nuklearen, gefolgt von den erneuerbaren Energien. Letztere wurden nach ihren Primärenergiequellen aufgeteilt. Generell sind die einzelnen Vertiefungen der Energieträger so gegliedert, dass anfänglich die Funktionsweise und die Energiegewinnung illustriert werden. Darauf folgt jeweils ein Abschnitt mit dem konkreten Bezug zur Schweiz, also die inländische Nutzung. Im zweiten Teil dieser Arbeit wird der Ist-Zustand, also aktuelle Daten des schweizerischen Energieverbrauchs, zusammenfassend dargestellt. Nach diesen Vertiefungen in die Theorie folgen meine Hypothesen, auf welchen die Arbeit basiert. Die Methodik des praktischen Teils, respektive wie ich bei dieser Arbeit vorgegangen bin und eine kurze Einführung in die Szenarien folgen. Ab diesem Punkt werden die Ergebnisse in drei Blöcken, präsentiert. Zum Abschluss des praktischen Teils kommt eine Analyse der Massnahmen und Strategien, sowohl technisch als auch sozial, die sozusagen als Anleitung zur Umsetzung des positiven Szenarios dienen. Mit dem Fazit und einer kurzen Zusammenfassung wird die Arbeit abgeschlossen.

Zu den Quellen des theoretischen Teils zählen hauptsächlich Bücher aber auch das Internet. Die Daten für die drei Szenarien erlange ich durch Untersuchung ausgewählter, bereits erstellter Szenarien. Diese sind teilweise Gesamtenergie- oder Teilszenarien wie Elektrizitätsszenarien, aber auch ein Emissionsszenario wurde analysiert. Für den letzten Abschnitt des praktischen Teils, also die Massnahmen und Strategien, wurde ein Interview durchgeführt.

Mein Ziel ist es, anhand dieser drei Szenarien zu zeigen, dass ein Umstieg auf erneuerbare Energien möglich ist und dass wir darüber entscheiden, ob aus einer Möglichkeit ein konkreter Plan wird.

## **2. Theorieteil**

### **2.1 Energie**

Energie ist ein unglaublich grosser Begriff und er war nie zentraler als heutzutage. Doch was ist eigentlich Energie? Sie wird definiert als eine physikalische Grösse und ihr Vorhandensein ist die Voraussetzung, um etwas zu verändern. Energie kann weder produziert noch verbraucht werden, sie kann lediglich umgewandelt werden. Die

internationale Grundeinheit für Energie ist das Joule.<sup>2</sup>

Man unterscheidet Energie in Primär- und Sekundärenergie. Die Primärenergie ist eine Energie, welche noch keine Umwandlung durchlaufen hatte, z.B. Kohle, Rohöl, Erdgas, Holz und Wasserkraft, aber auch Müll- und Industrieabfälle sowie die erzeugte Reaktorwärme eines Kernkraftwerkes. Unter Sekundärenergie versteht man Energie, welche durch Umwandlungsprozesse aus Primärenergie gewonnen wird. Dabei entstehen Umwandlungsverluste, teils sehr hohe. Beispiele sind Elektrizität, Heizöl, Fernwärme oder Benzin.<sup>3</sup>

Bei den einzelnen Energieträgern unterscheidet man zwischen erneuerbaren und nicht erneuerbaren Energieträgern. Zu den nicht erneuerbaren zählen fossile und nukleare Energieträger. Fossile Energieträger sind Erdgas, Erdöl, Kohle, Ölsande und Ölschiefer, welche während Millionen von Jahren unter geologischen Umwandlungsprozessen aus organischem Material entstanden sind. Beim Verbrennen dieser Stoffe werden Unmengen von Energie frei, aber auch Kohlendioxid wird an die Umwelt abgegeben, welches ursprünglich bei der Entstehung aufgenommen und gespeichert wurde. Wenn wir diese Ressourcen einmal verbrannt und genutzt haben, sind sie verbraucht, somit sind es also nicht erneuerbare Energiequellen. Da dieser Prozess so enorm langjährig ist, nennen wir sie endliche Ressourcen, denn wir verbrauchen weitaus mehr davon, als dass die Natur mit der Produktion nachkommt.<sup>4</sup>

Im folgenden Teil werden die fossilen Energieträger vertieft, d.h. die Entstehung, die Nutzen aber auch kritische Punkte werden erläutert.

## **2.2 Energieträger**

### **2.2.1 Erdöl**

Die Erdölreserven, die wir heute nutzen, entstanden vor rund 20 bis 350 Millionen Jahren in flachen Sedimentbecken damaliger Meere. Die Meere, oben von Sonnenlicht durchflutet, waren schon damals von mikroskopisch kleinen Pflanzen und Tieren belebt. In diesem Falle spielt tierisches als auch pflanzliches Plankton eine entschei-

---

<sup>2</sup> Gloor, R.: <http://www.energie.ch/energiedefinition> (12.08.16)

<sup>3</sup> BfS: Energie Panorama, 2016 (PDF), S.6

<sup>4</sup> Klimabündnis: Nicht erneuerbare Energie, [http://klimabuendnis.ch/cmsfiles/kmk\\_nicht\\_erneuerbare\\_energietraeger.pdf](http://klimabuendnis.ch/cmsfiles/kmk_nicht_erneuerbare_energietraeger.pdf) (10.4.2016)

dende Rolle. Wenn dieses nämlich starb, sank es auf den Meeresgrund, wo es meisten verweste. Ein Teil davon bildete hingegen auf dem Meeresgrund zusammen mit abgesunkenen Sedimenten eine Schicht aus Tiefseeschlamm. Die Planktonreste konnten am sauerstoffarmen Boden nicht verwesen, und falls nun die Umweltbedingungen günstig waren, verwandelte sich der Tiefseeschlamm während tausenden von Jahren und bei Temperaturen von etwa 65 bis 120°C sowie unter hohem Druck durch chemische und biologische Prozesse in ein komplexes Gemisch, das Erdöl. Die Mineralien, welche im Tiefseeschlamm enthalten sind, verfestigten sich dabei zu einer Gesteinsschicht. In den Hohlräumen dieses Gesteins konnte die Umwandlung des Planktons in Erdöl stattfinden.<sup>5</sup>

Durch weitere Überlagerungen von Gesteinsschichten sinkt das Muttergestein immer tiefer ab. Der dort höhere Druck als auch die höhere Temperatur führten dazu, dass das Erdöl aus dem Muttergestein ausgepresst wurde und nach oben migrierte, wo es an geologisch günstigen Standorten, den sogenannten Antiklinalen, gestoppt wurde. Dort, im sogenannten Speichergestein finden sich die konventionellen Erdöllagerstätten. Wenn nun aber gewisse Muttergesteine weniger durchlässig sind, verhindern diese das Austreten der Kohlenwasserstoffe. Diese Sedimentgesteine werden Gas- und Ölschiefer genannt. Deren Ausbeutung erfordert abweichende, äusserst teure Fördermethoden. Dort wo Erdöl tiefer unter der Erde liegt, wird es durch Bohrungen an Land als auch im Wasser unter Zuhilfenahme von Bohrinnseln gefördert. Der Transport des erlangten Öls erfolgt in Pipelines, Tankschiffen, Kesselwagen und Tanklastwagen. Das Rohöl wird später in Raffinerien zu verschiedenen Fertigprodukten verarbeitet. Die verwendeten Produkte können grob in zwei Hauptkategorien eingeteilt werden, nämlich in Brennstoff und Treibstoff, wobei Erdöl auch in der chemischen Industrie verwendet wird, zum Beispiel zur Herstellung von Kunststoff.<sup>6</sup>

Die Nachfrage nach Erdöl nimmt laufend zu und dabei stellt sich die Frage nach den aktuellen weltweiten Ölvorkommen, da Erdöl ein endlicher Energieträger ist. Es gilt die Vorkommen in Reserven und Ressourcen einzuteilen, wobei Reserven die Vorkommen sind, welche unter konventionellen Methoden gefördert werden können und Ressourcen, diejenigen Vorkommen, die es nicht bzw. noch nicht lohnt zu fördern.

---

<sup>5</sup> Klimabündnis: Nicht erneuerbare Energie,  
[http://klimabuendnis.ch/cmsfiles/kmk\\_nicht\\_erneuerbare\\_energetraeger.pdf](http://klimabuendnis.ch/cmsfiles/kmk_nicht_erneuerbare_energetraeger.pdf) (10.4.2016)

<sup>6</sup> BfE: Erdöl, <http://www.bfe.admin.ch/themen/00486/00487/index.html?lang=de> (17.4.2016)



Der Stand der Erdölreserven im Jahr 2012 belaufen sich auf 217 Gigatonnen und die Ressourcen auf 331 Gigatonnen.<sup>7</sup>

Das Land mit dem weltweit grössten Erdölvorkommen ist Saudi-Arabien mit 264,5 Milliarden Barrel Öl, was 19,1% vom Weltvorkommen ausmacht. An zweiter Stelle steht Venezuela mit 221,2 Milliarden Barrels, gefolgt vom Iran mit 137 Milliarden Barrels.<sup>8</sup>

Spätestens nach den Erdölkrisen in den 1970er Jahren wurde vielen Ländern, darunter auch der Schweiz, die Gefahren einer einseitigen Energieversorgung aufgezeigt. Seit dem Jahr 1973 ist der Öl-Anteil am Schweizer Energieverbrauch von 80% auf 51.5% (2014) gesunken.<sup>9</sup>

### **2.3.2 Erdgas**

Grösstenteils besteht Erdgas aus dem farb- und geruchlosen Methan (CH<sub>4</sub>). Ähnlich wie das Erdöl hat sich das Erdgas während Millionen von Jahren aus abgestorbenen Kleinorganismen gebildet. Gesteinsschichten lagerten sich über dem organischen Material an, wobei die Substanz komplett vom Sauerstoff abgeschlossen war. Unter hohem Druck und unter hoher Temperatur wandelten sich die organischen Substanzen zu Faulschlamm um. Schlussendlich entstand eine biogene Masse, welche mit weiteren Ablagerungen aus Gesteins- und Erdschichten bedeckt wurde. Im Laufe der Zeit kam es zu einem Druckanstieg, was auch eine Temperaturerhöhung zur Folge hatte. Durch die äusseren Bedingungen wurde ein langwieriger, chemischer Prozess eingeleitet, welcher die organischen Substanzen in gasförmige Kohlenwasserstoffe umwandelte. Wie bei der Entstehung von Erdöl wanderte das Erdgas im Verlaufe der Zeit durch das poröse Muttergestein nach oben, wo es vom sogenannten Speichergestein gestoppt und aufgenommen wurde. An diesem Ort bildeten sich die heutigen Lagerstätten.<sup>10</sup>

Auch das derzeitige Gasvorkommen teilt man in Reserven und Ressourcen ein. Prognosen zur Verfügbarkeit von Erdgas sind mit Unsicherheit behaftet, da sie von mehreren Faktoren abhängen. Deswegen sind die folgenden Zahlen als derzeitige

---

<sup>7</sup> Schatzwert: Erdgasvorkommen weltweit, <http://www.schatzwert.de/rohstoffe/erdgasvorkommen.html> (9.10.2016)

<sup>8</sup> Schatzwert: Erdölvorkommen, <http://www.schatzwert.de/rohstoffe/erdoelvorkommen.html> (9.10.2016)

<sup>9</sup> BfE: Erdöl, <http://www.bfe.admin.ch/themen/00486/00487/index.html?lang=de> (9.10.2016)

<sup>10</sup> Schwarzwald Energy: Die Entstehung von Erdgas, <http://www.schwarzwald-energy.de/die-entstehung-von-erdgas.html> (9.10.2016)

Einschätzung zu verstehen. Die Erdgasreserven liegen, gemessen bzw. geschätzt im Jahr 2012, bei 196 Billionen Kubikmeter. Die Gasressourcen belaufen sich auf 629 Billionen Kubikmeter.<sup>11</sup>

Weltweit hat sich der Erdgasverbrauch zwischen 1980 und 2006 verdoppelt und ist weiter am wachsen. In der Schweiz liegt der Gasanteil am Schweizer Endenergieverbrauch bei rund 12%. Dabei verbraucht der Sektor Haushalt mit 40% am meisten gefolgt von der Industrie mit einem Drittel des Gesamtverbrauchs. Da die Schweiz keine nennenswerten Erdgasvorkommen hat, sind wir für die Erdgasversorgung hundertprozentig auf Importe angewiesen. Das Thema eines neuen Gaskraftwerkes in der Schweiz ist stark umstritten, da ein zusätzlicher CO<sup>2</sup>-Ausstoss verhindert werden möchte. Andererseits sieht der Bundesrat eine solche Anlage als realistische Zwischenlösung der mittelfristigen Stromlücke.<sup>12</sup>

### **2.3.3 Kohle**

Unter Kohle versteht man zahlreiche feste Sedimenttypen, deren Zusammensetzung recht unterschiedlich ist. Steinkohle stammt aus der Zeit vor rund 300 Mio. Jahren während Braunkohle vor etwa 50 Mio. Jahren entstand. Kohle ist unter den nicht erneuerbaren Energien der Energieträger mit den grössten Gesamtressourcen. Die Kohlenvorkommen sind relativ gleichmässig über die Erdkugel verteilt. Nach der BP-Statistik liegen die Kohlenreserven bei rund 890 Milliarden Tonnen.<sup>13</sup>

Die Entstehung der Steinkohle und Braunkohle fand im Tiefland, welches sich entlang der damaligen Küsten im Mittelland befand, statt. Am Küstentiefland wuchsen üppige Wälder und das Klima war warm und feucht. Ganz allmählich senkte sich das Tiefland, oft weniger als ein Zentimeter in hundert Jahren, und dabei wurde der Waldboden langsam vom Meer überflutet. Die abgestorbenen Bäume versanken in einem Sumpf und häuften sich dort an. Während tausenden von Jahren bildete sich aus dem abgestorbenen Holz schliesslich Torf, welcher sich durch die Überlagerung von Sand und Ton zu einem luftdichten Torflager wandelte. Während Jahren wiederholte sich der Prozess der Torfbildung immer wieder durch erneutes Entstehen von Sumpfwäldern, so dass schlussendlich viele Torfschichten übereinander entstanden. Durch die vielen überlappenden Sand- und Tonschichten entstand ein hoher Druck,

---

<sup>11</sup> Schatzwert: Erdgasvorkommen weltweit, <http://www.schatzwert.de/rohstoffe/erdgasvorkommen.html> (9.10.2016)

<sup>12</sup> BfE: Erdgas, <http://www.bfe.admin.ch/themen/00486/00488/index.html?lang=de> (9.10.2016)

<sup>13</sup> BfE: Kohle, <http://www.bfe.admin.ch/themen/00486/00489/index.html?lang=de> (9.10.2016)

folglich auch eine erhöhte Temperatur, und dabei würde der Torf langsam zu Braunkohle umgewandelt. Die Schichten aus Sand und Ton verfestigten sich allmählich zu Sandstein und Schiefergestein. Unter deren Druck wurde die Braunkohle schliesslich zu Steinkohle.<sup>14</sup>

In den letzten Jahren erlebte Kohle eine Renaissance, vor allem zurückzuführen ist dies auf den wirtschaftlichen Aufbruch Asiens. Zwischen 2003 und 2013 hat der globale Kohleverbrauch um 47% zugenommen. Vier Fünftel davon geht auf Chinas und ein Achtel auf Indiens Konto. Klimapolitisch bleibt Kohle weiterhin ein Problem. Mithilfe von neuen Umweltvorschriften als auch durch die Konkurrenz von Erdgas dürfte sich die Kohleverbrauchszunahme wieder reduzieren.<sup>15</sup>

Bis Mitte des 20. Jahrhunderts war Kohle in der Schweiz der Hauptenergieträger. Ab 1950 wurde sie durch Erdöl vom Markt verdrängt. Im Jahr 1973 lag der Anteil am Schweizer Bruttoverbrauch unter 2% und seit 1996 verweilt er bei 0.5%. Die hohe Steuerbelastung von CHF 60.- pro Tonne CO<sub>2</sub>-Emissionen, was CHF 150.- pro Tonne Kohle entspricht, sowie die heftige Debatte über klassisch-thermische Kraftwerke führen zu der Annahme, dass eine Kohlerückkehr beim schweizerischen Energieverbrauch höchst unwahrscheinlich ist.<sup>16</sup>

## **2.4 Nukleare Energieträger**

Die Besonderheit an kernphysikalischen Prozessen ist, dass die in Atomkernen gespeicherte Bindungsenergie freigesetzt werden kann, wenn Atomkerne sich in andere Atomkerne umwandeln. Die Kernspaltung ist eine besonders energiereiche Umwandlungsart, bei der sich ein Atomkern in zwei ungefähr halb so schwere Tochterkerne zerlegt. Radioaktive Atomkerne sind von Natur aus instabil und zerfallen spontan, wobei das eher selten geschieht, und senden hierbei Alpha-, Beta- oder Gammastrahlen aus. Nun kann man aber einen Atomkern unter gezieltem Beschuss von Neutronen aufspalten. Bei der Spaltung besonders schweren Atomkernen, wie Uran oder Plutonium, werden neue Neutronen freigesetzt, die sich wiederum in weitere Atomkerne aufspalten können und so eine Kettenreaktion auslösen. Somit kann aus einer kleinen Menge an spaltbarem Material eine immens grosse Menge an Energie freigesetzt werden, welche entweder in kontrollierter Weise in Kernreaktoren

---

<sup>14</sup> Cornelsen: Aus Wald entstand Kohle, [http://www.cornelsen.de/bgd/97/83/06/04/05/86/2/9783060405862\\_x1SE\\_048-049.pdf](http://www.cornelsen.de/bgd/97/83/06/04/05/86/2/9783060405862_x1SE_048-049.pdf) (9.10.2016)

<sup>15</sup> BfE: Kohle, <http://www.bfe.admin.ch/themen/00486/00489/index.html?lang=de> (9.10.2016)

<sup>16</sup> BfE: Kohle, <http://www.bfe.admin.ch/themen/00486/00489/index.html?lang=de> (9.10.2016)

oder in Sekundenbruchteilen und in unkontrollierter Weise in Atombomben genutzt werden.<sup>17</sup>

#### **2.4.2 Energiegewinnung durch Kernenergie**

Ein Atomkraftwerk erzeugt durch Energieumwandlung elektrischen Strom. Die Brennelemente erzeugen durch die radioaktive Kernspaltung Wärme. Der Kernbrennstoff, welcher meist Uran, Plutonium oder ein Gemisch daraus ist, befindet sich in dünnen Rohren, welche zu einem Bündel zusammengefasst sind. Für die Energiegewinnung in den Brennstäben wird überwiegend Uran-235 aber auch Plutonium-239 genutzt. Uran kommt in der Natur aber nicht zu 100% als Uran-235 vor, sondern als ein Gemisch mit Uran-238. Der genaue Anteil von Uran-235 in Natururan beträgt etwa 0,7%. Wenn man allerdings das Uran zur Kernspaltung nutzen will, muss der Anteil an Uran-235 um 3-5% erhöht werden. Dies geschieht durch die sogenannte Uran-Anreicherung. Bei diesem Prozess nutzt man das Unterschiedliche Gewicht von Uran-235 und Uran-238. Durch rotierende Zentrifugen werden die beiden Isotope von einander getrennt und anschliessend im richtigen Mischverhältnis wieder zusammengeführt. Das Uran ist in den Brennstäben als Urandioxid  $UO_2$  in Form von Pellets vorhanden.<sup>18</sup>

Um den Atomkern von Uran-235 zu spalten, muss dieser mit einem Neutron beschossen werden damit Uran-236 entsteht. Der Uran-236-Kern teilt sich in einem Verhältnis von 2:3 auf, es entstehen zwei neue Kerne, die sogenannten Spaltprodukte. Zur selben Zeit werden drei Neutronen freigesetzt. Durch diesen Prozess der Spaltung erfolgt eine Umwandlung von Bindungsenergie des Atomkerns in Bewegungsenergie, also kinetische Energie, der beiden Spaltprodukte. Diese beiden neu entstandenen Atomkerne fliegen mit hoher Geschwindigkeit davon und stossen mit Umgebungsmaterial zusammen. Durch den Aufprall wird Wärme erzeugt, welche über das Wasser im Reaktorbehälter abgeführt wird. Die drei neuen Neutronen werden für weitere Kernspaltungen benutzt, damit diese Kettenreaktion aber funktioniert, müssen noch einige Bedingungen erfüllt werden. Die anfängliche Geschwindigkeit von ca. 20.000 km/s der Neutronen erschweren ihre Aufnahme von weiteren Atomkernen. Deswegen müssen diese zuerst langsamer werden. Sie stossen mit anderen

---

<sup>17</sup> Eidemüller, D.: Das nukleare Zeitalter, Stuttgart 2012, Hirzel Verlag, S. 11-12

<sup>18</sup> Schütz, M.: Atomkraftwerke; Grundlagen - Nutzung - Gefahren der Radioaktivität, Friedberg 2011, Verlagshaus Schlosser, S. 59-63

Atomen ihrer Umgebung zusammen und werden dabei von ihrer Bahn abgelenkt, wobei sie Energie abgeben.<sup>19</sup>

Wenn nun die Neutronen mit einer mittelschnellen Geschwindigkeit auf die Kerne des Uran-238 treffen, können sie so leicht aufgenommen werden. Damit ist auch die Forderung, dass die Anzahl der freigesetzten Neutronen eines gespaltenen Uran-236 Kerns auf eins reduziert werden muss, erfüllt. Um nun die Geschwindigkeitsreduzierung fortzusetzen wird zwischen den Brennstäben eine Art Bremsmaterialeingesetzt, ein sogenannter Moderator. Ein häufig genutzter und geeigneter Moderator ist Wasser, denn es erfüllt gleich zwei Bedingungen gleichzeitig. Einerseits bremst es die Neutronen, damit diese weitere Kernspaltungen auslösen können, und andererseits dient es als Kühlmittel. Die Energie, die durch die Kernspaltung aufgenommen wurde, wird vom Wasser aufgenommen und transportiert sie als heißen Dampf aus dem Reaktor hinaus zur Dampfturbine.<sup>20</sup>

Die freigesetzte Energie pro Atomkern beträgt etwa 200 MeV. Die Energie tritt primär als kinetische Energie der Spaltprodukte auf. Die Gesamtsumme der Einzelenergien, die in Wärme umgewandelt wird und dann über eine Dampfturbine einen Stromgenerator antreibt, erbringt eine Leistung von bis zu 400 Megawatt. Ganz wichtig ist, dass das Gehäuse des Reaktors so gebaut ist, dass es den hohen Druck des entstandenen Dampfes und die hohen Temperaturen aushalten kann. Der Brennstoff Uran oder Plutonium an sich strahlt nur gering, hingegen sind die entstandenen Spaltprodukte hochradioaktiv. Dazu gibt es mehrere Abschirmungen. Der Brennstoff Uran in dicht verschweissten Brennstäben eingeschlossen. Diese Edelstahlrohre sind von einem Kühlmittel umgeben, das sich in einem Reaktordruckgefäß aus Stahl befindet. Wiederum das Reaktorgefäß befindet sich in einem Betongehäuse, worum eine Stahlkugel als Sicherheitsbehälter angebracht ist. Zuletzt wird alles von einer starken Stahlbetonhülle umgeben.<sup>21</sup>

Nachdem nun im nuklearen Teil des Atomkraftwerkes heißer Dampf mit hohem Druck durch die Kernspaltung entstanden ist, wird mit diesem Dampf im konventionellen Teil des Kraftwerkes Strom erzeugt. Dazu wird der Wasserdampf zu einer

---

<sup>19</sup> Schütz, M.: Atomkraftwerke; Grundlagen - Nutzung - Gefahren der Radioaktivität, Friedberg 2011, Verlagshaus Schlosser, S. 59-64

<sup>20</sup> Schütz, M.: Atomkraftwerke; Grundlagen - Nutzung - Gefahren der Radioaktivität, Friedberg 2011, Verlagshaus Schlosser, S. 62-65

<sup>21</sup> Schütz, M.: Atomkraftwerke; Grundlagen - Nutzung - Gefahren der Radioaktivität, Friedberg 2011, Verlagshaus Schlosser, S. 68-70

Dampfturbine geführt, welche zur Aufgabe hat, die im Dampf enthaltene Wärme in Rotationsenergie umzuwandeln. An die Turbine ist ein Generator gekuppelt, der die durch die Turbine bereitgestellte kinetische Energie in elektrische Energie umwandelt. Es kommen Generatoren zum Einsatz, welche dann den erzeugten Strom in das Verbraucher-Stromnetz einspeisen. Der übrige Wasserdampf wird in einem Kondensator wieder herunter gekühlt, bis das entstandene Wasser schliesslich durch Pumpen wieder in den Reaktor befördert wird.<sup>22</sup>

### **2.4.3 Wiederaufbereitung und Entsorgung**

Wenn die Brennelemente in Form von Pellets nach einer Kernspaltung genutzt werden, entstehen aus dem Uran-235 jeweils Spaltprodukte, welche zwar Wärme durch Reibung erzeugen, aber nicht für weitere Kernspaltungen genutzt werden können. Die abgebrannten Brennstäbe müssen durch neue ersetzt werden. Folglich werden die alten Brennstäbe wiederaufbereitet, das heisst, die noch verwendbaren Kernbrennstoffe Uran und Plutonium in den Stäben werden von den Abfallstoffen getrennt. Falls die Wiederaufbereitung nicht möglich ist, wird der Abfall als Atommüll entsorgt.<sup>23</sup>

Bei der Atommüllentsorgung handelt es sich um einen komplizierten Prozess. Der Atommüll wird in drei Gruppen eingeteilt. Den schwachaktiven, den mittelaktiven und den hochaktiven Müll. Zu den leichtaktiven Abfällen zählen vor allem Arbeitskleidung, Putzlappen und verfestigte Flüssigabfälle. Diese stellen das kleinste Problem der Lagerung dar, allerdings beinhalten sie das grösste Volumen. Zu dem mittelradioaktiven Müll zählen Strukturteile aus der Wiederaufbereitung, die Hülsen der Brennelemente, Harze aus der Wasserreinigung als auch Abfälle aus medizinischen und industriellen Anwendungen. Diese stellen bereits eine höhere Anforderung an sachgerechte Lagerung. Teilweise müssen sie gut abgeschirmt und über Jahrhunderte bis Jahrtausende sicher gelagert werden. Die hochradioaktiven Abfälle sind, wie der Name schon vermuten lässt, die gefährlichsten. Sie sind für den grössten Teil der Radioaktivität verantwortlich, auch wenn sie mengenmässig am geringsten vertreten sind. Diese setzen sich vor allem aus zwei Sorten radioaktivem Material zusammen: Zum einen aus den Spaltprodukten mit Halbwertszeiten von bis zu 100 Jahren, zum

---

<sup>22</sup> Schütz, M.: Atomkraftwerke; Grundlagen - Nutzung - Gefahren der Radioaktivität, Friedberg 2011, Verlagshaus Schlosser, S. 71-74

<sup>23</sup> Schütz, M.: Atomkraftwerke; Grundlagen - Nutzung - Gefahren der Radioaktivität, Friedberg 2011, Verlagshaus Schlosser, S. 116-119

ändern aus den Transuranen, welche wesentlich langlebiger sind. Transurane und einige langlebige Spaltprodukte wie das Plutonium-239 müssen mehrere Hunderttausend Jahre gelagert werden. Heutige Endlagerungskonzepte sehen eine Lagerfrist von einer Million Jahre als erforderlich an, wobei zu bedenken ist, dass niemand für eine solche Zeitspanne irgendeine Prognose machen kann.<sup>24</sup>

Um die hochradioaktiven Abfälle zu transportieren und zu lagern, werden diese in sogenannte Castor-Behälter eingeschweisst. Da sich die Abfälle temperaturmässig entwickeln, müssen zunächst die frisch abgebrannten Brennelemente in Abklingbecken, gefüllt mit Wasser, mehrere Jahre abkühlen, bis die kurzlebigen und extrem aktiven Spaltprodukte ausgestrahlt haben. Nach diesem Prozess müssen sie für mehrere Jahrzehnte in Zwischenlager mit einer gewissen Luftzirkulation zur Kühlung gebracht werden. Während dieser Zeit verlieren die mittellebigen Spaltprodukte den Grossteil ihrer Aktivität. Wenn dies vollbracht ist, können die gefüllten Castor-Behälter dauerhaft ohne externe Kühlung gelagert werden. Im Innern können aber dann aber teilweise immer noch Temperaturen von über 300 Grad Celsius herrschen. Solange sie an der Oberfläche unter 100 Grad Celsius warm sind, kann der Abfall nach derzeitiger Planung im Gestein eingelagert werden.<sup>25</sup>

## 2.5 Erneuerbare Energien

Als erneuerbare Energien versteht man solche in der Natur vorkommende Energiequellen, die sich in menschlichen Massstäben gesehen nicht oder nur begrenzt erschöpfen. Dazu zählen zum Beispiel Solar-, Wind-, Wasserenergie und Erdwärme.<sup>26</sup>

Die gesamte Energie von erneuerbaren Energieträgern entspricht etwa dem 3000-fachen des derzeitigen jährlichen Weltenergieverbrauchs. Aufgrund vieler technischer, ökonomischer und struktureller Einschränkungen ist aber nur ein kleiner Anteil davon zu nutzen. Zudem variiert das Vorkommen erneuerbarer Energien räumlich stark. Nichts desto Trotz haben diese Energien zukünftig das Potential einen erheblichen Anteil der Energieversorgung zu gewährleisten und dies auf dauerhaft komplett erneuerbarer Basis.<sup>27</sup>

---

<sup>24</sup> Eidemüller, D.: Das nukleare Zeitalter, Stuttgart 2012, Hirzel Verlag, S. 144-145

<sup>25</sup> Eidemüller, D.: Das nukleare Zeitalter, Stuttgart 2012, Hirzel Verlag, S. 146-147

<sup>26</sup> Wagner, H.: Was sind die Energien des 21. Jahrhunderts? Der Wettlauf um die Lagerstätten, Frankfurt am Main 2010, Fischer Verlag, S. 51

<sup>27</sup> Hennicke, P. und Bodach, S.: Energie Revolution, München 2010, Oekom, S. 68-69

### 2.5.1 Primärenergiequellen

Die regenerierbaren Energien haben drei verschiedene Ursachen: Isotopenzerfall oder heisses Magma, Fusion der Sonne und Gravitation der Planeten.<sup>28</sup>

Unter Isotopenzerfall ist der Zerfall und die dabei entstehende Wärme von natürlich radioaktiven Isotopen zu verstehen. Zudem findet aus dem heissen Erdinnern eine Wärmeleitung an die Oberfläche statt. An den Stellen in der Erde, in denen sich Anomalien gebildet haben, ist die Geothermie nutzbar. An gewissen Orten sind Heisswasservorkommen in der Erde vorhanden, deren Nutzung aber endlich ist. Hingegen an andern Stellen vulkanischem Ursprung liegen heisse Gesteinsschichten so oberflächennah, dass diese ausgebohrt werden können.<sup>29</sup>

Die zweite Energiequelle ist die Fusion der Sonne. Diese führt dazu, dass die Sonne Strahlungsenergie zur Erde schickt, die wir mit Hilfe von thermischen Solaranlagen nutzen können. Aber auch die Natur verwendet diese Energie zur Produktion von Biomasse, also das Pflanzenwachstum. Variierende Erwärmungen auf der Erde lösen Meeresströmungen und Atmosphärenbewegungen aus, die wir als Windenergie wahrnehmen. Aber auch die Wasserkraft ist eine Erscheinungsform der Sonnenenergie, denn das Wasser durchläuft einen Kreislauf, angetrieben von der Sonne. Das Wasser verdunstet und steigt in Form von Wasserdampf auf, wo es kondensiert und später vorwiegend als Regen oder Schneefall wieder auf die Erdoberfläche gelangt. So kann die Energie der Wasserkraft mit Hilfe eines Wasserkraftwerks technisch zu Strom umgewandelt werden.<sup>30</sup>

Die dritte physikalische Ursache für erneuerbare Energien kommt von der Gravitation der Planeten. Da sich Massen anziehen, entstehen aus dem Zusammenspiel von Mond und Erde die Gezeiten. Es wird bereits seit längerem versucht die Gezeitenenergie zu nutzen, was jedoch aus wirtschaftlichen Gründen noch nicht im grossen Stil betrieben wird.<sup>31</sup>

---

<sup>28</sup> Wagner, H.: Was sind die Energien des 21. Jahrhunderts? Der Wettlauf um die Lagerstätten, Frankfurt am Main 2010, Fischer Verlag, S. 52

<sup>29</sup> Wagner, H.: Was sind die Energien des 21. Jahrhunderts? Der Wettlauf um die Lagerstätten, Frankfurt am Main 2010, Fischer Verlag, S. 51-55

<sup>30</sup> Wagner, H.: Was sind die Energien des 21. Jahrhunderts? Der Wettlauf um die Lagerstätten, Frankfurt am Main 2010, Fischer Verlag, S. 53

<sup>31</sup> Wagner, H.: Was sind die Energien des 21. Jahrhunderts? Der Wettlauf um die Lagerstätten, Frankfurt am Main 2010, Fischer Verlag, S. 51-54



## 2.5.2 Sonnenenergie

Wie oben schon erwähnt erscheint diese Primärenergiequelle in vier verschiedenen Formen, nämlich als Solarenergie, Biomasse, Wasserkraft und Windkraft. In den folgenden Abschnitten werden diese Erscheinungsformen der Sonnenenergie im Allgemeinen und in Bezug auf die Schweiz genauer erklärt.<sup>32</sup>

## 2.5.3 Solarenergie

Die Solarenergie ist die direkte Nutzung der Sonnenenergie. Man unterscheidet grundsätzlich die Solarthermie, also die Umwandlung von Sonnenenergie in thermische Energie, von der Photovoltaik, sprich eine Umwandlung von Sonnenenergie in Energie bzw. Strom.<sup>33</sup>

Bei der Solarthermie findet eine direkte Wärmeübertragung der Strahlung der Sonne auf die Erde statt. Damit diese Energie optimal genutzt werden kann, gibt es Solarthermiemodule, sogenannte Kollektoren. Selbst bei diffuser Strahlung gewinnen diese Kollektoren Wärme, denn die Strahlungsstärke der Sonne liegt auch bei leichter Bewölkung noch bei 60%.<sup>34</sup>

Das Prinzip der Solarthermie ist sehr einfach: Die Kollektoren auf dem Hausdach absorbieren die Sonnenwärme und das in ihnen enthaltene Wasser-Frostschutz-Gemisch wird so auf bis zu 95° Celsius erhitzt und leitet diese Wärme über einen Wärmeaustauscher in den Solarspeicher. Die abgekühlte Flüssigkeit wird wieder hoch zum Kollektor transportiert und der ganze Vorgang wiederholt sich. Somit ist der Solarspeicher eine Art Batterie, denn die gespeicherte Sonnenwärme kann über mehrere Tage ein Haus mit warmem Wasser und Heizungswärme versorgen.<sup>35</sup>

In der Schweiz betrug der Energieertrag der Solarthermie im Jahr 2014 0.27% am erneuerbaren Endverbrauch. Röhren- und Flachkollektoren lieferten 1'977 TJ und unverglaste Kollektoren, welche vor allem für Warmwasser und zur Schwimmbadbe-

---

<sup>32</sup> Wagner, H.: Was sind die Energien des 21. Jahrhunderts? Der Wettlauf um die Lagerstätten, Frankfurt am Main 2010, Fischer Verlag, S. 53

<sup>33</sup> Geitmann, S.: Erneuerbare Energien – Mit neuer Energie in die Zukunft, Berlin 2010, Hydrogeit Verlag, S. 62

<sup>34</sup> Geitmann, S.: Erneuerbare Energien – Mit neuer Energie in die Zukunft, Berlin 2010, Hydrogeit Verlag, S. 65-66

<sup>35</sup> Energiesparen im Haushalt: Wie funktioniert Solarthermie, <http://www.energiesparen-im-haushalt.de/energie/bauen-und-modernisieren/hausbau-regenerative-energie/energiebewusst-bauen-wohnen/emission-alternative-heizung/heizen-mit-der-sonne-solar/solarthermie-funktionsweise.html> (9.10.2016)

heizung nützlich sind, lediglich 234 TJ.<sup>36</sup>

Bei der anderen Nutzung der Solarenergie, der Photovoltaik, handelt es sich um die direkte Umwandlung von Sonnenlicht in elektrische Energie mittels Solarzellen. Die heutigen Solarstromanlagen bestehen hauptsächlich aus Photovoltaikmodulen, welche ihrerseits aus einzelnen Solarzellen aufgebaut sind. Diese Solarzellen enthalten grösstenteils hochreines Silizium. Dieses chemische Element ist, obwohl es das nach Sauerstoff das zweithäufigste Element ist, nicht in rein kristalliner Form anzutreffen, vielmehr als Quarzgestein oder Quarzsand in Verbindung mit Sauerstoff. Um nun hochreines Silizium zu gewinnen, ist ein äusserst hoher Energieeinsatz notwendig und dem entsprechend ist das Ausgangsmaterial teuer. Der grosse Bedarf an Silizium und das langsame Wachstum der Siliziumkristalle führt zu einer stetigen Verringerung der Siliziumschichtdicke.<sup>37</sup>

In der Schweiz stammte im Jahr 2014 1.25% der erneuerbaren Netto-Elektrizitätsproduktion aus solarer Stromproduktion. In den letzten zwei Jahrzehnen erfuhr die Photovoltaik in der Schweiz einen enormen Aufschwung, denn erst ab Mitte der neunziger Jahre wurde die Schwelle der Jahresproduktion von 1 Mio. Kilowattstunden erreicht.<sup>38</sup>

Im Weiteren gibt es noch sogenannte Solarkraftwerke, bei denen mit Hilfe von Solarspiegeln das einfallende Sonnenlicht gebündelt wird. Solche Kraftwerke konzentrieren die Sonnenstrahlung mit spiegelnden Parabolrinnen oder Heliostaten auf einem Absorber. Allerdings können diese Solarkraftwerke nur im sogenannten Sonnengürtel der Erde wirtschaftlich eingesetzt werden, sprich diese Anwendung findet in der Schweiz keinen Platz.<sup>39</sup>

#### **2.5.4 Biomasse**

Biomasse bezeichnet sämtliches organisches Material, welches durch Fotosynthese direkt oder indirekt erzeugt und nicht durch geologische Prozesse verändert wurde. Bei der Nutzung von Biomasse wird jeweils CO<sub>2</sub> freigesetzt, aber nur so viel, wie auch mittels Fotosynthese in der Biomasse gebunden war. Es wird im Allgemeinen

---

<sup>36</sup> BfE: Schweizerische Statistik der Erneuerbaren Energien, Liestal 2015 (PDF), S. 5-8

<sup>37</sup> Geitmann, S.: Erneuerbare Energien – Mit neuer Energie in die Zukunft, Berlin 2010, Hydrogeit Verlag, S. 73-81

<sup>38</sup> BfE: Schweizerische Statistik der Erneuerbaren Energien, Liestal 2015 (PDF), S. 6-7

<sup>39</sup> Geitmann, S.: Erneuerbare Energien – Mit neuer Energie in die Zukunft, Berlin 2010, Hydrogeit Verlag, S. 92-95

zwischen holzartiger, trockener und weniger verholzter, nasser Biomasse unterschieden. Ersteres sind vor allem Waldholz, Feldgehölze, Altholz sowie feste Abfälle aus Industrie, Gewerbe und Haushalten. Unter nasse und weniger verholzte Biomasse fallen beispielweise Hofdünger, Ernterückstände sowie biogene Abfälle aus der Lebensmittelindustrie, der Gastronomie und aus Haushalten.<sup>40</sup>

Aus Biomasse kann man unter Verarbeitung Wärme, Strom und Treibstoff gewinnen. Je nach Art und Zusammensetzung und gewünschtem Endenergieprodukt werden unterschiedliche Umwandlungstechnologien angewendet. Trockene, verholzte Biomasse wird meist über thermochemische Prozesse wie Verbrennung und Vergasung verarbeitet, während weniger verholzte, feuchte Masse eher über bio-chemische Umwandlungspfade, sprich Vergärung, verwertet wird.<sup>41</sup>

Beim gesamtschweizerischen erneuerbaren Energieverbrauch trägt die Biomasse 0,3% bei, wobei Energiepflanzen – Pflanzen also, die eigens für die Energiegewinnung angebaut werden, keine Rolle spielen.<sup>42</sup>

### **2.5.5 Windkraft**

Die Strömungsenergie des Windes wird bei einer Windkraftanlage in mechanische bzw. elektrische Energie umgewandelt. Zentral dabei ist der Rotor, welcher durch die zuströmende Luft in Bewegung versetzt wird. Dieser ist über eine Welle und normalerweise über ein Getriebe mit einem Generator verbunden, der entweder direkt oder über eine Leistungselektronik den Strom ins Netz einspeist.<sup>43</sup>

Bei der Konstruktion von Windrädern spielt die Höhe, die Form und der Standort eine wichtige Rolle. Da die Windgeschwindigkeit in grösserer Entfernung vom Erdboden ansteigt, werden die Windräder möglichst hoch gebaut. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen On-Shore und Off-Shore, wobei Ersteres auf dem Land gemeint ist und Letzteres an der Küste.<sup>44</sup>

In der Schweiz befinden sich vor allem auf den Jurahöhen, in den Alpen und Voralpen als auch im westlichen Mittelland geeignete Standorte, da sie den wichtigen Merkmalen von hohem Windaufkommen, guter Erschliessung, geeignetem Siedlungsabstand und Verträglichkeit mit Natur und Landschaft entsprechen. In der

---

<sup>40</sup> BfE: Biomasse, <http://www.bfe.admin.ch/themen/00490/00496/index.html?lang=de> (9.10.2016)

<sup>41</sup> BfE: Biomasse, <http://www.bfe.admin.ch/themen/00490/00496/index.html?lang=de> (9.10.2016)

<sup>42</sup> BfE: Schweizerische Statistik der Erneuerbaren Energien, Liestal 2015 (PDF), S. 5

<sup>43</sup> Hennicke, P. und Bodach, S.: Energie Revolution, München 2010, Oekom, S. 78-82

<sup>44</sup> Kleinknecht, K.: Risiko Energiewende, Berlin Heidelberg 2015, Springer-Verlag, S. 82-90

Schweiz wurde die erste Windenergieanlage im Jahr 1986 beim Soolhof in Betrieb genommen. Im Jahr 2012 zählte man über 30 Anlagen in der Schweiz, welche insgesamt 85 Gigawattstunden Windstrom produzierten. Daran erkennt man, dass die Windenergie in der Schweiz noch grosses Potential vorweist. Bis im Jahr 2050 sollen Windenergieanlagen in unserem Land bis zu 4'000 GWh Strom pro Jahr produzieren.<sup>45</sup>

Allerdings wird die konkrete Planung und Umsetzung von Windparks und Anlagen oft durch Einsprachen und Rekurse verzögert. Denn die Rotoren verursachen Lärm und sind in der Landschaft sichtbar und zudem können sie für Vögel und Fledermäuse eine Gefahr darstellen, obwohl sich hier die Frage gestellt werden muss, welche langfristigen Umweltschäden beim Ausbleiben der Nutzung von Windenergie entstehen.<sup>46</sup> Hingegen das grössere Problem liegt bei den starken Schwankungen der erzeugten Leistung. Der ständig wechselnde Wind richtet sich nicht immer nach der zu erfüllenden Stromnachfrage, deswegen müssen Windkraftwerke durch ein konventionelles Kraftwerk ergänzt werden. Wenn nun Windstille herrscht oder die Rotoren bei Sturm ausgeschaltet werden müssen, muss diese Reservekapazität zugeschaltet werden.<sup>47</sup>

### **2.5.6 Wasserkraft**

Die Wasserkraft wird heutzutage praktisch nur zur Stromerzeugung genutzt. Die kinetische Energie der Wasserkraft treibt Turbinen an, welche wiederum einem Generator mechanische Energie zufügen und dieser erzeugt dann Elektrizität. In der Schweiz liegt die Stromproduktion aus Wasserkraft bei rund 56%. Der schweizerische Wasserkraftwerkspark bestehen aus 605 Kraftwerken mit einer Mindestleistung von 300 kW, welche jährlich durchschnittlich 36'031 Gigawattstunden Strom produzieren. Davon werden rund 48% in Speicherkraftwerken, 47,6% in Laufwasserkraftwerken und 4,4% in Pumpspeicherkraftwerken erzeugt. Im folgenden Teil werden diese drei Kraftwerke und ihre Funktionsweise genauer erläutert.<sup>48</sup>

Speicherkraftwerke liegen meist in höheren Gebirgsregionen und sammeln in einem Stausee Wasser, oft Schmelzwasser, und hängen somit stark von dessen saisona-

---

<sup>45</sup> BFE: Windenergie, <http://www.bfe.admin.ch/themen/00490/00500/index.html?lang=de> (21.08.16)

<sup>46</sup> Energieschweiz: Windenergie, <http://www.energieschweiz.ch/erneuerbare-energien/windenergie.aspx> (21.08.16)

<sup>47</sup> Kleinknecht, K.: Risiko Energiewende, Berlin Heidelberg 2015, Springer-Verlag, S. 86-87

<sup>48</sup> BFE: Wasserkraft, <http://www.bfe.admin.ch/themen/00490/00491/> (21.08.16)

lem Aufkommen ab. Es werden Staudämme und Staumauern errichtet, um das Wasser zu sammeln. Binnen Minuten können Speicherkraftwerke in Betrieb genommen werden und lassen sich schnell an den Strombedarf anpassen. Aus diesem Grund werden sie unter anderem zur Deckung des schwankenden Spitzenstrombedarfs eingesetzt.<sup>49</sup>

Laufwasserkraftwerke sind an Flüssen zu finden, wo sie das Wasser zurückstauen. Grosse Turbinen erzielen aus dem niedrigen Gefälle und der meist geringen Strömungsgeschwindigkeit ein Optimum an Energie. Die an Schiffspropeller erinnernde Turbinen bewegen sich mit einer geringen Umdrehungszahl und sind somit wahre Energieerzeuger.<sup>50</sup>

Pumpspeicherkraftwerke, die dritte Art Wasserkraft zu nutzen, machen sich hoch gelegene Stauseen und dazu noch ein weiteres Speicherbecken im Tal zu Nutzen. Oben wird wie bei einem Speicherkraftwerk das Wasser gesammelt, allerdings wird volumenmässig weniger Flüssigkeit benötigt. Wird nun viel Strom gebraucht, läuft das Wasser vom oberen Becken in das untere und treibt die Turbinen an. Hingegen wenn die Stromnachfrage gerade klein ist, beispielsweise nachts, wird Strom aus dem elektrischen Netz entnommen, um das Wasser wieder hoch in das obere Becken zu pumpen. Infolgedessen trägt dieses Kraftwerk nicht viel zur Stromproduktion bei, es ist viel eher gedacht, um Strombedarfsspitzen zu decken.<sup>51</sup>

### **2.5.7 Gravitation der Planeten**

Die dritte Primärenergiequelle entsteht aus dem Zusammenspiel der Himmelskörper. Dieses Wirken hat einen grossen Einfluss auf die Meere, was sich durch Ebbe und Flut bemerkbar macht. Bei diesem Prozess werden enorme Massen bewegt und genau diese können mit Hilfe der richtigen Anwendung zur Energiegewinnung beitragen.<sup>52</sup>

---

<sup>49</sup> Bürke, T. & Wengenmayr R.: Erneuerbare Energie – Konzepte für die Energiewende, Weinheim 2012, Wiley-VCH Verlag, S. 24

<sup>50</sup> Energiestiftung: Laufwasserkraftwerke, <http://www.energiestiftung.ch/erneuerbare-energien-laufwasserkraftwerke.html> (9.10.2016)

<sup>51</sup> Wagner, H.: Was sind die Energien des 21. Jahrhunderts?, Frankfurt am Main 2007, Fischer Verlag, S. 211-214

<sup>52</sup> Wagner, H.: Was sind die Energien des 21. Jahrhunderts, Frankfurt am Main 2007, Fischer Taschenbuch Verlag, S. 54

### **2.5.8 Gezeitenkraftwerk**

Das ständige Kommen und Gehen des Meeres bieten ein unglaubliches Potential zur Energiegewinnung. Solche Kraftwerke finden in der Schweiz allerdings keine Verwendung, da diese auf die Gezeiten des Meeres angewiesen sind. In andern Regionen hingegen hat die Gezeitenkraft ein enormes Potential. Weil das Wasser eine so grosse Energiedichte hat, können Unterwasserkraftwerke viel effizienter elektrischen Strom erzeugen als zum Beispiel Windkraftwerke. An solchen Orten, wo der Tidenhub gross ist, ist das Ziel, dass Wasser während der Flut über Turbinen in eine Lagune oder Bucht strömt, bis der Höchststand erreicht ist. Anschliessend werden die Durchgänge verschlossen, während aussen im offenen Meer der Wasserstand während der Ebbe abfällt. Hat der Wasserstand des Meeres aussen nun den Tiefstand erreicht, werden die Turbinendurchlässe wieder geöffnet, sodass das ausströmende Wasser die Turbinen so lange antreibt, bis der Wasserstand innerhalb und ausserhalb der Lagune wieder gleich ist. Bei einem solchen Kraftwerk gilt es aber die Auswirkungen auf die Natur zu beachten. Die Turbinenrotoren sollen sich nicht zu schnell drehen, optimal für Fische und Meeressäuger sind lediglich 25 bis 50 Umdrehungen pro Minute. Zudem sollte vermieden werden, dass die Turbinen sich in Rohren befinden, da diese zu einem hohen Wasserdruck und einer starken Strömung führen.<sup>53</sup>

Der grosse Vorteil der Gezeitenkraftwerke liegt in ihrer berechenbaren Stromproduktion und in ihrer Langlebigkeit. Der Standort muss allerdings mindestens einen Tidenhub von 6 Metern aufweisen. Andere Formen der Gezeitenenergie, wie Wellenkraftwerke, sind bis jetzt kaum realisiert worden, was sich in den nächsten Jahren aber noch ändern kann und auch wird.<sup>54</sup>

### **2.5.9 Isotopenzerfall**

Bei dem Zerfall von natürlich radioaktiven Isotopen entsteht Wärme aber auch aus dem flüssigen und heissen Erdinnern findet eine Wärmeleitung an die Oberfläche statt. Nun ist an den Stellen in der Erde, in denen sich Anomalien gebildet haben, die

---

<sup>53</sup> Umweltnetz Schweiz: Gezeitenkraftwerke, <https://www.umweltnetz-schweiz.ch/themen/energie/item/1829-gezeitenkraftwerke-ebbe-und-flut-als-unerschöpfliche-energiequelle.html> (9.10.2016)

<sup>54</sup> Umweltnetz Schweiz: Gezeitenkraftwerke, <https://www.umweltnetz-schweiz.ch/themen/energie/item/1829-gezeitenkraftwerke-ebbe-und-flut-als-unerschöpfliche-energiequelle.html> (9.10.2016)

Geothermie, oder auch Erdwärme genannt, nutzbar. Diese wird im folgenden Abschnitt erläutert.<sup>55</sup>

### **2.5.10 Geothermie**

Die geothermische Energie oder „Erdwärme“ ist die in Form von Wärme gespeicherte Energie unter der Erdoberfläche. Sie besteht hauptsächlich aus dem Zerfall natürlich vorkommender radioaktiver Elemente. Schon ab einer Tiefe von etwa 15 Metern unter der Oberfläche ist die Bodentemperatur das ganze Jahr über konstant. In der Schweiz herrscht in 5000 Metern Tiefe eine Temperatur von rund 200°C. Diese Wärme wird mit Hilfe verschiedener Methoden genutzt: Vertikale Erdwärmesonden, Grundwasserbrunnen, Geostrukturen und warme Tunnelwässer können in Verbindung mit einer Wärmepumpe zu Heiz- und in seltenen Fällen zu Kühlzwecken genutzt werden. Heisse Grundwasservorkommen können mit Tiefbohrungen angezapft werden. Bei Temperaturen von über 100°C ist somit die Produktion von Elektrizität möglich und die Restwärme kann zu Heizzwecken genutzt werden.<sup>56</sup>

In der Schweiz wurden im Jahr 2014 über 3'000'000 Megawattstunden geothermische Energie produziert. Das entspricht der von allen 30 Schweizer Kehrichtverbrennungsanlagen in einem Jahr produzierten Wärme. Der grösste Teil der Geothermie-Wärme stammt aus Erdwärmesonden.<sup>57</sup>

## **2.6 Ist-Zustand**

### **2.6.1 Energieverbrauch total**

Da nun die einzelnen Energieträger vorgestellt wurden und auch deren Bedeutung am Schweizer Energieverbrauch erläutert wurde, wird letzteres nochmals genauer betrachtet.

Der schweizerische Energieverbrauch im Jahr 2014 betrug 825'770TJ wovon 648'870 TJ nicht erneuerbarer Endverbrauch beinhaltet. Somit beträgt der gesamte erneuerbare Anteil am schweizerischen Endenergieverbrauch im Jahr 2014 176'900 TJ, was etwa 21,4 % ausmacht.<sup>58</sup>

---

<sup>55</sup> Wagner, H.: Was sind die Energien des 21. Jahrhunderts?, Frankfurt am Main 2007, Fischer Verlag, S. 51-52

<sup>56</sup> BfE: Geothermie, <http://www.bfe.admin.ch/themen/00490/00501/index.html?lang=de> (9.10.2016)

<sup>57</sup> Wyss, R.: Immer mehr Erdwärme, <http://geothermie-schweiz.ch/geothermie/statistik/> (9.10.2016)

<sup>58</sup> BfE: Schweizerische Statistik der Erneuerbaren Energien, Liestal 2015 (PDF), S. 5

- erneuerbarer Endverbrauch  
21.4%
- nicht erneuerbarer Endverbrauch  
78.6%

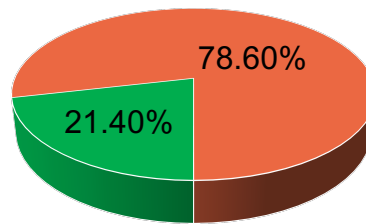


Abbildung 1: Endenergieverbrauch in erneuerbarer und nicht erneuerbarer Anteil aufgeteilt (Quelle: BfE, 2015, 5, eigene Darstellung)



Wenn man nun nur den Anteil erneuerbarer Energieträger ansieht, macht dabei Elektrizität mit 13,97% den grössten Teil des Energieverbrauchs aus, gefolgt von der Umweltwärme mit 1,53%. Der Anteil der Fernwärme beträgt 0,76%, der von Holz 4,18% und der aus erneuerbarem Abfall 0,32%. Biogase machen lediglich 0,3% aus, gefolgt von der Energie der Sonne mit 0,27%.<sup>59</sup>

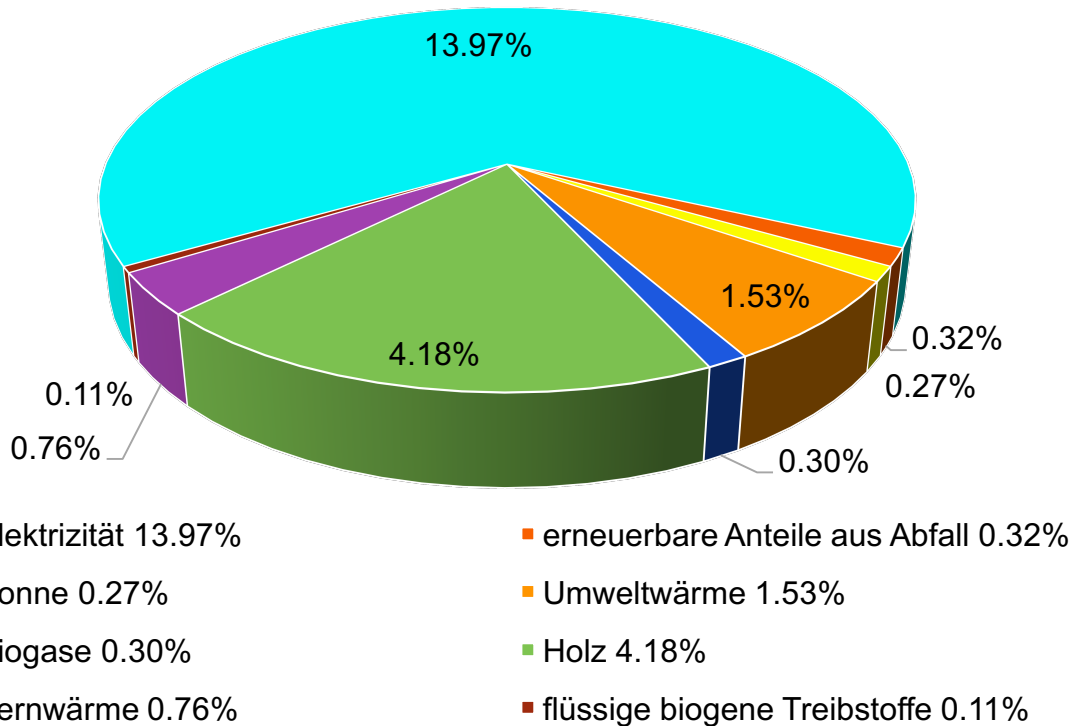


Abbildung 2: Erneuerbare Anteile am schweizerischen Endenergieverbrauch im Jahr 2014 (Quelle: BfE, 2015, 5, eigene Darstellung)

Wenn man sich die einzelnen Sektoren anschaut, macht der Verkehr den grössten Teil des gesamten Energieverbrauchs 2014 mit 37,7 % aus. Haushalte verbrauchten mit 26,5 % auch einen erheblichen Teil der Energie. Der Industriesektor verbrauchte im Jahr 2014 19% und Dienstleistungen 15,8 %. Das letzte Prozent ist die statistische Differenz inklusive der Landwirtschaft.<sup>60</sup>

## 2.6.2 Elektrizitätsproduktion

Die Netto-Elektrizitätsproduktion im Jahr 2014 betrug 242'201 TJ, wovon 142'446 TJ

<sup>59</sup> BfE: Schweizerische Statistik der Erneuerbaren Energien, Liestal 2015 (PDF), S. 5

<sup>60</sup> BfE: Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2014, Bern 2015, myclimate (PDF), S. 6

(58,8%) erneuerbaren Ursprungs waren. Die restlichen 41,2% sind folglich der nicht erneuerbare Anteil der Stromproduktion. Mit 54,9% stammte der grösste Teil von Wasserkraftwerken. Die übrigen 3,89% beinhalten die Anteile aus Biomasse, Wind, erneuerbarem Abfall, Sonne und Biogase aus der Abwasserreinigung.<sup>61</sup>

### **3. Hypothesen**

Ich gehe davon aus, dass die Energiewende in der Schweiz bis im Jahr 2050 möglich ist. Die Schweiz kann bis 2050 komplett auf Kernenergie verzichten und steigt auf alternative erneuerbare Energieträger um. Im schlechten Fall müssen zur Versorgung Gas-Kombi-Kraftwerke hinzugezogen werden, im positiven Fall werden die erneuerbaren Energieträger alles übernehmen können. Dazu soll Geothermie erstmals eingesetzt werden, zudem soll die Solar- als auch Windenergie stark gefördert werden. Auch die Wasserkraft soll nun noch intensiver genutzt werden. Als ein weiterer neuer erneuerbarer und CO<sub>2</sub>-neutraler Energielieferant soll der Wasserstoff zukünftig eingesetzt werden. Um beim Problem zu bleiben, auch die Treibhausgasemissionen sollen sich durch diesen Umstieg auf erneuerbar deutlich verringern. Dies trägt viel zu unserem Klima und schlussendlich zur Verbesserung unseres Lebensstandards bei.

Meines Erachtens ist es dringend notwendig, dass ein Umdenken stattfindet und erneuerbare Energien gefördert werden. Daneben sollte das weitere Betreiben von Kernkraftwerken möglichst zeitnah eingestellt werden, um nicht zuletzt auch das Risiko eines Unfalls wie in Tschernobyl oder Fukushima zu vermindern.

### **4. Methodik des praktischen Teils**

Gegliedert ist die Arbeit im Allgemeinen nach Basiswissen und Theorie, IST-Zustand der Schweiz, Szenarien und zuletzt Lösungsvorschlägen. Die Theorie, also Erläuterung der einzelnen Energieträger erfolgt generell nach dem Prinzip, dass zuerst die Funktionsweise erklärt wird und in einem zweiten Abschnitt wird der Fokus auf die Nutzung in der Schweiz gelegt. Der folgende Teil beschreibt nochmals zusammenfassend den aktuellen Stand in der Schweiz in punkto Energie. Die Essenz der Arbeit liegt in den Szenarien beziehungsweise in dem daraus gezogenen Fazit und den Lösungsvorschlägen.

---

<sup>61</sup> BfE: Schweizerische Statistik der Erneuerbaren Energien, Liestal 2015 (PDF), S. 6

Um sich in die Arbeit zu vertiefen, fand zu Beginn eine ausführliche Bücherecherche statt. Als die Idee von Szenarien aufkam, wurde beim Recherchieren die sogenannte „Szenariotechnik“ entdeckt“. Sie beschreibt den Vorgang beim Erstellen von drei Szenarien und dient somit als Instrument der Zukunftsanalyse. Das Denkmodell der Szenariotechnik kann mit Hilfe eines Trichters visualisiert werden, der die Entwicklung von der Gegenwart in die Zukunft graphisch darstellt.<sup>62</sup>

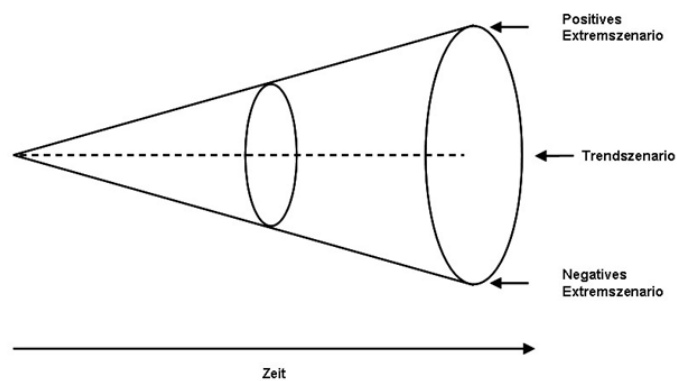


Abbildung 3: Szenariotrichter (Quelle: [http://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/schaden/fva\\_szenariotechnik\\_ak1/fva\\_szenariotechnik\\_ak1\\_1.gif](http://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/schaden/fva_szenariotechnik_ak1/fva_szenariotechnik_ak1_1.gif))(9.10.2016)

Die gegenwärtige Ausgangssituation stellt die Spitze des Trichters dar, also ganz links. Die immer grösser werdende Spannbreite des Trichters verdeutlicht die Unsicherheit, da immer mehr Zeit vergeht. Um die Weite der möglichen Entwicklungen erfassen zu können, werden zwei Extremszenarien, ein bestmögliches und ein schlechtmöglichstes, aufgestellt. Zudem wird ein Trendszenario formuliert, das dem Entwicklungstrend der Vergangenheit entspricht und liegt in der Mitte des Trichterquerschnitts.<sup>63</sup>

Die Szenariotechnik lässt sich in verschiedene Phasen gliedern. Zu Beginn wird eine Aufgaben- und Problemanalyse gemacht, das heisst, der zu untersuchende Sachverhalt wird genau festgelegt und beschrieben. Wenn dies getan ist, folgt die Einflussanalyse. Bei dieser Arbeitsphase geht es darum, jene Faktoren zu ermitteln, die den Untersuchungsgegenstand beschreiben und beeinflussen. Wenn alle Einflussbereiche ausreichend beschrieben sind, wird eine Vernetzung vorgenommen. Mit Hilfe einer Vernetzungsmatrix soll dargestellt werden, wie die jeweiligen Faktoren sich un-

<sup>62</sup> Albers O. und Broux A.: Zukunftswerkstatt und Szenariotechnik, Weinheim und Basel 1999, Beltz Verlag, S. 57-60

<sup>63</sup> siehe Fussnote 61

tereinander beeinflussen. In der nächsten Phase, der Deskriptorenanalyse, werden die Einflussbereiche und Einflussfaktoren hinsichtlich ihrer Inhalte bewertet. Sie müssen also genauer beschrieben werden und eine eindeutig definierte Messgrösse muss festgelegt werden. Dabei sollen die Deskriptoren wertneutral und sachlich formuliert werden. Die Deskriptoren werden dann in den unterschiedlichen zukünftigen Entwicklungsverläufen analysiert. Der nächste Schritt ist die Entwicklung der Szenarien. Diese machen in anschaulicher Weise mögliche Zukunftsentwicklungen und deren Konsequenzen sichtbar. Bei der Darstellung der Szenarien ist man reichlich wenig eingeschränkt, es kann in Form eines kurzen Textes festgehalten werden, aber auch mit Tabellen und Kurven. Zum Schluss werden Strategien und Massnahmen zur Problemlösung entwickelt. Dabei wird wieder Bezug zur Ausgangssituation genommen. Es sollen Handlungsstrategien entworfen werden, die einen positiven Verlauf der Ausgangssituation möglich machen. Dabei zentral sind die Fragen, was jeder einzelne dazu beitragen kann, was als Gruppe erreicht werden kann und wie eine bestimmte Organisation oder Institution sich verhalten muss, um eine positiven Zukunftsentwicklung zu realisieren.<sup>64</sup>

Allerdings ist bei dem ganzen Prozess der dargestellte Phasenverlauf auf keinen Fall starr zu handhaben. Einzelne Phasen können beispielsweise zusammengefasst werden oder eventuell ganz ausgelassen werden.<sup>65</sup>

Bei der Datenbeschaffung für die einzelnen Entwicklungen wurden zuerst Szenarien des schweizerischen Energieverbrauchs recherchiert und dann diese miteinander verglichen. Die vom Bund erstellten Szenarien „Weiter wie bisher“, „Politische Massnahmen“ und „Neue Energiepolitik“ sowie das Szenario Energy(R)evolution von Greenpeace wurden hauptsächlich unter die Lupe genommen. Auch die Gesamtenergiestrategie von Swiss Cleantech als auch unzählige Strom- oder Emissionsszenarien wurden auf ihre Stärken und Schwächen hin durchgeschaut. Zudem wurde durch die Kontaktaufnahme mit Fachpersonen eine Externe Meinung hinzugeholt, welche geholfen haben, realistische Daten zu sammeln. Bei einzelnen Faktoren wie beispielsweise der Anzahl der Bevölkerung in der Schweiz geht man von einer allgemeinen Entwicklung aus, was dazu führt, dass hier die Daten bei allen Szenarien identisch sind.

---

<sup>64</sup> Albers O. und Broux A.: Zukunftswerkstatt und Szenariotechnik, Weinheim und Basel 1999, Beltz Verlag, S. 60-65

<sup>65</sup> siehe Fussnote 53

Bei der Beschäftigung mit den Strategien und Massnahmen zur Problemlösung wurde ein Interview durchgeführt. Dabei wurde unter anderem untersucht, was Schweizerinnen und Schweizer konkret zur Energiewende beitragen können, wie Schadstoffemissionen verringert werden können und wie man eine optimale Förderung erneuerbarer Energien erzielen kann. Der Interviewpartner Dr. Prof. Hannes Weigt arbeitet an der Forschungsstelle für nachhaltige Energie- und Wasserversorgung an der Universität Basel. Zudem befasst er sich mit der aktuellen als auch zukünftigen Stromversorgung. Aufgrund seiner Tätigkeiten und seinem breiten Fachwissen, was auch eine bestimmte Objektivität folgern lässt, wurde er für dieses Interview als optimal angesehen und angefragt.

Somit setzt sich diese Arbeit aus unterschiedlichen Methoden zusammen, was das Ganze möglichst umfassend aber auch objektiv machen soll.

## 5. Ergebnisse

Wie schon erwähnt stellen die drei Szenarien mögliche Veränderungen bis im Jahr 2050 dar. Zu Beginn wurden die unterschiedlichen Einflussbereiche der Energiewende ermittelt. Daraus ergaben sich fünf Hauptthemen mit jeweiligen Unterteilungen, die sich am optimalsten zur Darstellung der Veränderung eignen. Die fünf Faktoren bestehen aus den gesellschaftlichen Aspekten, Wirtschaft & Umwelt, den Energieträgern und deren Nutzung, den Verbrauchergruppen und der Stromnutzung.

Mir ist durchaus bewusst, dass die Energiewende weitaus mehr Aspekte beinhaltet, aber diese alle zu beschreiben und zu untersuchen würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen und so habe ich mich auf die fünf aussagekräftigsten beschränkt.

Wie hier ersichtlich ist, besitzen die unterschiedlichen Bereiche jeweils einen anderen Grössenumfang. Diese sogenannten Deskriptoren wurden mit einer Vernetzungsmatrix auf ihren gegenseitigen Einfluss hin untersucht. Beeinflussen sie sich überhaupt nicht, steht eine 0, beeinflussen sie sich sehr stark steht eine 3. Dies wurde anhand eigener Erfahrungen ausgefüllt und nicht wissenschaftlich belegt, da die Vernetzungsmatrix keinen grossen Zweck verfolgt, ausser eine bessere Orientierung und Auseinandersetzung mit den Themen.

	Gesellschaft	Wirtschaft & Umwelt	Energieträger	Verbraucher	Elektrizität
Gesellschaft	X	3	2	0	2

Wirtschaft & Umwelt	3	X	2	0	2
Energieträger	2	2	X	2	3
Verbraucher	0	0	2	X	1
Elektrizität	2	2	3	1	X

Tabelle 1: Vernetzungsmatrix (Gröflin, 2016)

Folgend sind die Szenarien, welche sich aus den einzelnen Deskriptoren ergeben haben. Zuerst wird das Trendszenario vorgestellt, worauf das positive und das negative Szenario folgen.

### 5.1 Die drei Szenarien

In den anschliessenden Abschnitten werden die Szenarien vorgestellt, indem zuerst die Rahmendaten kurz erläutert werden. Darauf folgend werden einige wirtschaftliche Daten aufgelistet. Diese sind teils gleich, teils leicht voneinander abweichend. Darauf wird der Endenergieverbrauch dargestellt werden. Es folgt eine Aufteilung nach den Verbrauchergruppen und jeweils eine kurze Erklärung. Danach wird der Elektrizitätsverbrauch betrachtet, wobei die ausschlaggebenden Technologien nach ihren Potenzialen vertieft werden.

Bei dem Vergleich der Daten lässt sich erkennen, dass das Negativ- und das Trendszenario sich oftmals nicht oder nur schwach von einander unterscheiden. Denn häufig sind die schlechtmöglichsten, aber doch realistischen Veränderungen, diejenigen, die sich wie bisher verhalten.

Allgemein wird das Trend- und Negativszenario nur oberflächlich angeschaut und das positive Szenario wird in so gut wie allen Aspekten ausführlicher behandelt, denn schlussendlich zieht man Profit aus der Betrachtung positiver Dinge.

### 5.2 Das Trendszenario

Das Trendszenario beschreibt eine zukünftige Entwicklung, die, wie der Name schon verrät, dem heutigen Trend folgt. Zukünftige Massnahmen, die ergriffen werden sollten, basieren auf heute bestehenden Technologien sowie vorhersehbaren Weiterentwicklungen der Technologien. Man geht von einer gezielten Förderung energetischer Massnahmen auf der Energienachfrageseite, bei dem Einsatz erneuerbarer Energien in Gebäuden und erneuerbaren Energien auf der Elektrizitätsangebotssei-

te. Der Schwerpunkt liegt aber auf der Effizienzsteigerung, da diese Gewinne in der Regel kostengünstiger sind als der Zubau neuer Erzeugungstechnologien.<sup>66</sup>

Zu Beginn gilt es, die sozioökonomischen Rahmendaten abzuklären. Im Weiteren spielen auch wirtschaftliche und politische Faktoren eine massgebende Rolle bei der Entwicklung der Szenarien.

TRENDSZENARIO		2014	2030	2050
Bevölkerung	Mio.	8,24	8,8	9,0
Anzahl private Haushalte	Mio.	3,585	4,207	4,384
Fahrleistung gesamter Personenverkehr	Mrd. Pkm	122,9	141,1	151,3
Treibhausgas-Emissionen	Mio. t CO <sub>2</sub> eq	48,71	39,8	30,3

Tabelle 2: Rahmendaten des Trendszenarios (Quellen vgl. Anhang, eigene Darstellung)

Wie hier ersichtlich ist, wird von einer Zunahme der Schweizer Bevölkerung ausgegangen. Diese wird im Jahr 2050 bis auf 9 Millionen Personen steigen. Und somit steigt auch die Anzahl der privaten Haushalte. Auch die Fahrleistung des gesamten Personenverkehrs wird zunehmen. Die Schadstoffemissionen gilt es dringend zu senken, und dies wird auch geschehen, denn diese werden sich vom Jahr 2014 mit 48,71 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>eq bis 2050 auf 30,3 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>eq verringern.<sup>67</sup>

TRENDSZENARIO	Einheit	2014	2030	2050
BIP pro Kopf	Tausend CHF	78,43	76,3	88,6
Preis Elektrizität	Rp./kWh	25,2	27,8	28,8
Preis Fernwärme	CHF/GJ	26,1	31,9	35,3
Preis Öl	CHF/Barrel	79 <sup>68</sup>	102	88
Preis Gas	CHF/Tonne	321 <sup>69</sup>	627	649

Tabelle 3: Politische und wirtschaftliche Rahmendaten des Trendszenarios (Quellen vgl. Anhang, eigene Darstellung)

<sup>66</sup> BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG, S. 85

<sup>67</sup> Vgl. Tabelle 2, alle exakten Datenquellen aller folgenden Tabellen sind einzeln im Anhang nachzulesen

<sup>68</sup> Wert von 2010, aufgrund starker Schwankungen im Jahr 2014

<sup>69</sup> Wert von 2010, Anpassung an Ölpreis

Auch die Komponenten dieser Tabelle beeinflussen die ganze Energiewende indirekt, wie beispielsweise das BIP pro Kopf als Indikator für Wohlstand. Das BIP pro Kopf wird weiterhin steigen, bis 2050 auf 88,6 Tausend Franken. Die Preise werden alle auch steigen, wobei der Preis für Strom und Fernwärme nur minim nach oben gehen, hingegen die Preise für fossile Brennstoffe, vor allem Gas, sich deutlich erhöhen.<sup>70</sup>

Wird nun die gesamte Schweizer Endenergienachfrage betrachtet, kann man feststellen, dass sie sich gemischt entwickelt. Bis im Jahr 2014 stieg sie bis auf 825'800 TJ. Wenn man nun davon ausgeht, dass einige vom Bund vorgeschlagenen Massnahmen getroffen werden, wird sich die Endenergienachfrage leicht aber kontinuierlich senken sowie der Anteil an erneuerbaren Energieträgern zunehmen wird.

TRENDSZENARIO	Einheit	2014	2030	2050
Endenergieverbrauch total	TJ	825'800	667'100	565'300
Endenergieverbrauch erneuerbar	%	21,4	44,5	64,5
	TJ	176'900	296'726	364'392
Endenergieverbrauch nicht erneuerbar	%	78,6	55,5	35,5
	TJ	648'870	370'374	200'908
Davon fossile Energieträger	%	65,25	50,9	35,5
	TJ	538'820	339'414	200'908
Davon nukleare Energieträger	%	11,5	4,6	0
	TJ	94'930	30'960	0

Tabelle 4: Endenergieverbrauch des Trendszenarios (Quellen vgl. Anhang, eigene Darstellung)

Wie aus der oben aufgeführten Tabelle abzulesen ist, wird der Endenergieverbrauch im Jahr 2030 bis auf 667'100 TJ sinken und bis 2050 wird er sich um noch ein bisschen mehr als 100 TJ verringern, sodass der Endenergieverbrauch dann bei 565'300 TJ liegt. Auch die Verteilung der Energieträger wird sich verändern. Im Jahr 2030 werden erneuerbare und nicht erneuerbare Energien fast ausgeglichen sein, wobei letztere in fossile und nukleare eingeteilt werden. 2030 werden noch 30'960 TJ, also etwa ein Drittel des nicht erneuerbaren Verbrauchs von 2014, von Kernkraftwerken stammen. Nochmals 20 Jahre später werden erneuerbare Energien die Überhand gewinnen und mit 64,5% den grössten Anteil der Versorgung ausmachen. Der Rest,

<sup>70</sup> Vgl. Tabelle 3



also der nicht erneuerbare Teil setzt sich ausschliesslich aus fossilen Energieträger zusammen, anders gesagt heisst dies, dass wir bis dann kernenergiefrei sein werden.<sup>71</sup>

Bei diesen Daten wird davon ausgegangen, dass die wesentlichen eingeführten energiepolitischen Instrumente fortgeführt werden. Ein Grund der Senkung des Endenergieverbrauchs führt auf das sogenannte Gebäudeprogramm zurück. Es gilt die Förderung der Sanierung des Altbaubestands, der Nutzung von Abwärme und effiziente Haustechnik als auch die Förderung von erneuerbaren Energien. Ein weiterer Punkt sind Effizienzvorschriften, vor allem im Bereich Elektrogeräte und Beleuchtung. Zuletzt wird mit dem Instrument der wettbewerblichen Ausschreibungen Effizienzmassnahmen in bestehenden Betrieben gefördert. Die Effizienzmassnahmen sind sichtbar in Verbesserungen von beispielsweise Lüftungs- und Kühlanlagen, oder Abwärmenutzungseinrichtungen etc.<sup>72</sup>

Es stellt sich aber nicht nur die Frage, wie viel Energie verbraucht wird, sondern auch, wer diese denn bezieht. Somit schauen wir uns die einzelnen Sektoren an.

TRENDSZENARIO	Einheit	2014	2030	2050
Endenergieverbrauch	TJ	825'800 TJ	667'100 TJ	565'300 TJ
Private Haushalte	%	26,5	30,2	26,9
	TJ	219'000	204'000	152'100
Industrie	%	19,0	21,7	22,5
	TJ	156'870	147'200	127'000
Dienstleistungen	%	15,8	20,3	24,1
	TJ	130'810	137'600	136'200
Verkehr	%	37,7	27,8	26,5
	TJ	311'680	188'200	149'900
Statistische Differenz inkl. Landwirtschaft	TJ	7'410	10'600	8'800

Tabelle 5: Endenergieverbrauch nach Sektoren im Trendszenario (Quellen vgl. Anhang, eigene Darstellung)

Wie sich hier ablesen lässt, verbraucht der Verkehr trotz einer Senkung von rund 10% bis 2050 am meisten Energie. Dieser Rückgang wird primär durch Energieein-

<sup>71</sup> Vgl. Tabelle 4

<sup>72</sup> BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 239-240

sparungen in der Mobilität erzielt. Diese beinhalten eine Steigerung der Energieeffizienz der Transportmittel, eine Optimierung des Einsatzes der Transportmittel und eine Reduktion der Mobilitätsnachfrage. Der Sektor Private Haushalte verbraucht bis 2050 rund 70 TJ weniger Energie wie im Jahr 2014. Hier verringert sich hauptsächlich der Anteil der Raumwärme, folgernd durch die Senkung des Heizölverbrauchs. Die grössten Zunahmen zeigen sich in den Bereichen Klima, Lüftung & Haustechnik und Warmwasser. Im Dienstleistungssektor steigt der Verbrauch zunächst bis 2030 und sinkt anschliessend wieder bis 2050. Gründe dafür sind Fördermittel aus dem Gebäudeprogramm und wettbewerbliche Ausschreibungen zur Steigerung der Energieeffizienz. Der Industriesektor bezieht bis 2050 etwa 30 TJ weniger Energie, nimmt aber anteilmässig um 3,5% zu. Durch die Förderung von Querschnittstechnologien, welche sich auf die Abwärme und die Betriebs- und Prozessoptimierung fokussieren, wird das Effizienzpotenzial gesteigert und Energie gespart.<sup>73</sup>

TRENDSZENARIO	Einheit	2014	2030	2050
Elektrizitätsverbrauch total	TJ	207'000	207'200	219'100
Elektrizitätsverbrauch erneuerbar	%	55,8	71,0	70,5
	TJ	115'505	147'112	154'466
Elektrizitätsverbrauch nicht erneuerbar	%	44,2	29,0	29,5
	TJ	91'494	60'088	64'635

Tabelle 6: Elektrizitätsverbrauch des Trendszenarios (Quellen vgl. Anhang, eigene Darstellung)

In der Elektrizitätsproduktion und –nachfrage wird sich langfristig in allen Fällen eine Steigerung des Bedarfs im Verhältnis zum gesamten Energieverbrauch entwickeln. Vorletztes Jahr betrug der Elektrizitätsverbrauch 207'000 TJ und machte 25,1% des Gesamten aus. Bis 2030 wird dieser bis auf 207'200 TJ steigen. Weiter ist bis 2050 eine Zunahme bis auf 219'100 zu erwarten, was umgerechnet etwa 38,8% des gesamtschweizerischen Energieverbrauchs sind. Wir die Zusammensetzung betrachtet, kann eine positive Veränderung wahrgenommen werden. Momentan, sprich 2014, beträgt der erneuerbare Anteil 68,8%, also 142'446 TJ und nicht erneuerbare Ener-

<sup>73</sup> BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 516-544 & vgl. Tabelle 5

gien machen 41,2% aus. Bis 2050 werden erneuerbare Energieträger circa 70% ausmachen und die restlichen 30% stammen folglich aus fossilen Quellen.<sup>74</sup>

Dies führt allerdings bei der Gegenüberstellung der Stromnachfrage bis 2050 und der künftigen Stromerzeugung im Winterhalbjahr 2019 dazu, dass die Stromnachfrage das Angebot überschreitet, es entsteht eine hypothetische Stromlücke. Ursache hierfür ist das Auslaufen eines Teiles der Bezugsrechte und die Ausserbetriebnahme des Kernkraftwerks Beznau I. Nach dem Jahr 2019 wird diese Lücke vor allem durch das Auslaufen der restlichen Bezugsrechte und die folgende Stilllegung der Kernkraftwerke grösser.<sup>75</sup>

Da die Stromlücke am stärksten im Winterhalbjahr auftritt, wird der Zubau primär auf das Winterhalbjahr ausgerichtet. Dieser Zubau erfolgt bis 2050, dem Ende des Zeithorizonts der Modellierung. Es gilt also die Kernkraftwerke zu ersetzen, falls notwendig ab 2019 durch Gaskombikraftwerke. Es wird von einer Leistungsgrösse bei neuen Gaskombikraftwerken von 550 MW ausgegangen. Kommt es zu einer Überdeckung der Nachfrage, werden die Volllaststunden verringert, somit werden Gaskombikraftwerke als regelfähig behandelt. Zudem soll die erneuerbare Stromerzeugung inklusive der Wasserkraft ausgebaut werden. Im Weiteren soll ein niedriger, autonomer Zubau von Wärme-Kraft-Koppelungsanlagen stattfinden.<sup>76</sup>

Im Allgemeinen basiert das Trendszenario auf einer Weiterführung der bisherigen schweizerischen Energiepolitik. Die Hauptinstrumente zusammengefasst sind die Ausstattung des Gebäudeprogramms, eine Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Abgabe, ambitionierte und weiterentwickelte Vorschriften und Standards im Baurecht, wettbewerbliche Ausschreibungen für Energieeffizienz in der Wirtschaft und eine an den Kosten orientierte Einspeisevergütung für Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien.<sup>77</sup>

### **5.3 Das positive Zukunftsszenario**

Dieses Szenario wird am genauesten beschrieben, da auch im Fazit dieses die grösste Rolle spielen wird. Grund dafür ist der Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit, denn hierbei handelt es sich um die Möglichkeit der Energiewende und den zu treffenden Massnahmen. Da die anderen beiden Szenarien nur schlechtere Varianten

---

<sup>74</sup> Vgl. Tabelle 6

<sup>75</sup> BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 568-574

<sup>76</sup> BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 554-575

<sup>77</sup> BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 491

darstellen und wir in dieser Arbeit von einer positiven Wende ausgehen, basieren alle Massnahmen und Strategien auf diesem Szenario.

Der politische Rahmen dieser möglichen Entwicklung basiert vor allem auf der Gebäudetechnologie. Es soll eine Erhöhung der Sanierungsrate bei Gebäuden um knapp 2% stattfinden. Zudem sollen Neubauten bis 2020 auf nahezu den Nullenergiestandard gebracht werden, ebenso streben langfristig Sanierungen diesen Standard an. Zur Warmwasseraufbereitung und Heizungsunterstützung gilt es Wärmepumpstrategien und Solarwärme zu nutzen. Im Verkehrssektor gilt einerseits die Elektromobilitätsstrategie und andererseits sollen vermehrt Biotreibstoffe eingesetzt werden. Im Industrie- und Dienstleistungssektor soll ein konsequenter Einsatz von Querschnittstechnologien und eine allmähliche Einführung neuer Prozesstechnologien und Materialien stattfinden.<sup>78</sup>

POSITIVES SZENARIO		2014	2030	2050
Bevölkerung	Mio.	8,24	8,8	9,0
Anzahl private Haushalte	Mio.	3,585	4,207	4,384
Fahrleistung gesamter Personenverkehr	Mrd. Pkm	122,9	134,8	140,3
Treibhausgas-emissionen	Mio. t CO <sub>2</sub> eq	48,71	31,0	17,3

Tabelle 7: Rahmendaten des positiven Szenarios (Quellen vgl. Anhang, eigene Darstellung)

Die Umsetzung erfolgt generell unter beständiger Bevölkerung- und Wirtschaftsentwicklung. Die Anzahl der privaten Haushalte erhöht sich von 3,6 auf rund 4,4 Millionen. Die Fahrleistung des gesamten Personenverkehrs beträgt 2050 140,3 Mrd. Pkm. Die Treibhausgasemissionen sinken von aktuellen 48,71 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>eq bis im Jahr 2030 auf 31,0 Mio. t CO<sub>2</sub>eq und bis 2050 auf 17,3 Mio. t CO<sub>2</sub>eq. Pro Kopf strebt dieses Szenario eine Reduktion der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Kopf bis zum Jahr 2050 auf 1 – 1,5 t.<sup>79</sup>

POSITIVES SZENARIO	Einheit	2014	2030	2050
--------------------	---------	------	------	------

<sup>78</sup> BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 365

<sup>79</sup> BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 367-368 & vgl. Tabelle 7

BIP pro Kopf	Tausend CHF	78,43	76,3	88,6
Preis Elektrizität	Rp./kWh	25,2	30,6	33,6
Preis Fernwärme	CHF/GJ	26,1	33,4	38'4
Preis Öl	CHF/Barrel	79 <sup>80</sup>	83	63
Preis Gas	CHF/Tonne	321 <sup>81</sup>	525	476

Tabelle 8: Politische und wirtschaftliche Rahmendaten des positiven Szenarios (Quellen vgl. Anhang, eigene Darstellung)

Wie in dieser Tabelle ersichtlich ist, steigen vor allem der Strompreis und der für Fernwärme. Wie auch in den anderen Szenarien nimmt das BIP pro Kopf von 78,43 Tausend Franken auf 88,6 Tausend Franken im Jahr 2050 zu. Die Preise für Öl und Gas steigen bis 2030, und nehmen in den weiteren zwanzig Jahren wieder ab.<sup>82</sup>

In der unten aufgeführten Tabelle ist der Schweizer Endenergieverbrauch, als auch dessen Zusammensetzung ersichtlich. Der Gesamtverbrauch nimmt stark ab, wobei der erneuerbare Anteil markant ansteigt.<sup>83</sup>

POSITIVES SZENARIO	Einheit	2014	2030	2050
Endenergieverbrauch total	TJ	825'800	603'000	450'600
Endenergieverbrauch erneuerbar	%	21,4	53,1	86,9
	TJ	176'900	320'193	391'571
Endenergieverbrauch nicht erneuerbar	%	78,6	46,9	13,1
	TJ	648'870	282'807	59'029
Davon fossile Energieträger	%	65,25	41,8	13,1
	TJ	538'820	251'847	59'029
Davon nukleare Energieträger	%	11,5	5,1	0
	TJ	94'930	30'960	0

Tabelle 9: Endenergieverbrauch des positiven Szenarios (Quellen vgl. Anhang, eigene Darstellung)

Der Endenergieverbrauch halbiert sich bis im Jahr 2050 nahezu. Zum Ende des Zeithorizonts beträgt der Endverbrauch 450'600 TJ. Im Jahr 2014 betrug der Anteil

<sup>80</sup> Wert von 2010, aufgrund starker Schwankungen im Jahr 2014

<sup>81</sup> Wert von 2010, Anpassung an Ölpreis

<sup>82</sup> Vgl. Tabelle 8

<sup>83</sup> Vgl. Tabelle 9

erneuerbarer Energieträger 21,4%, der der nicht erneuerbaren 78,6%. Bis 2030 steigt der Prozentsatz erneuerbarer Energien bis 53,1%, folglich sinkt der der nicht erneuerbaren auf 46,9%. Der Trend der Substitution bei fossilen Energieträgern setzt sich fort. Gas verdrängt zunehmend Heizöl, vor allem ersichtlich bei Raumwärme und Prozesswärme. Allerdings sinkt der Bedarf an Raumwärme durch Massnahmen im Gebäudeprogramm und den strengen Effizienzstandards.<sup>84</sup> Bis 2050 machen erneuerbare Energieträger mit 391'571 TJ rund 87% des Endenergieverbrauchs aus, dementsprechend werden nicht erneuerbare Energien, wobei bis 2050 nur fossile und keine nuklearen Energieträger mehr genutzt werden, 13,1% 59'029 TJ verbraucht.<sup>85</sup>

Werden die erneuerbaren Energien in der Nachfrage bis im Jahr 2050 betrachtet, zeigt sich, das Ende des Betrachtungshorizonts vor allem Umgebungswärme, Solarwärme und flüssige biogene Treibstoffe ein enormes Nachfragewachstum erleben. Die Nachfrage nach Umgebungswärme verdoppelt sich, die nach Solarwärme nimmt fast um das 19-fache zu und die Energienachfrage nach flüssigen Biotreibstoffen erhöht sich um das 105-fache. Die Nachfrage nach Industrieabfälle und Holz reduziert sich im Vergleich zum Jahr 2010 bis 2050 auf 61% bzw. 42%. Der erneuerbare Anteil der Fernwärme verringert sich in der selben Zeitspanne um 14%. Der Anteil erneuerbarer Energieträger an der Brennstoffnachfrage nimmt stetig zu, bis 2050 bestreiten erneuerbare Energien 54% der Treibstoffnachfrage.<sup>86</sup>

Fossile Energieträger reduzieren sich kontinuierlich, wobei der Verbrauch von Heizölprodukten am stärksten minimiert wird. Die Reduktion der Nachfrage nach Benzin und Diesel beläuft sich auf circa 90% bzw. 80%. Erdgas sinkt um etwa die Hälfte und die Kohlenachfrage ist gleich null bis 2050. Die Nachfrage nach nicht erneuerbaren Abfällen, Flugtreibstoffen und Fernwärme verringern ebenfalls. Hingegen steigt der Verbrauch von Erdgas als Treibstoff bis 2050 um circa das Fünffache an, so dass dieser Energieträger mit 42% 2050 den Hauptteil des Verbrauchs ausmacht.<sup>87</sup>

---

<sup>84</sup> BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 427 & vgl. Tabelle 9

<sup>85</sup> Vgl. Tabelle 9

<sup>86</sup> BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 437-439

<sup>87</sup> BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 441-442

Nochmals zurück zur Senkung des gesamten schweizerischen Endenergieverbrauchs. Aufgeteilt nach den einzelnen Sektoren wird veranschaulicht, wie diese zustande kommt.

Da im Allgemeinen eine starke Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Betrachtungszeitraum bis 2050 angestrebt wird, ohne dabei die Elektrizitätsnachfrage zu erhöhen, muss die Nachfrage nach Raumwärme erheblich reduziert werden. Somit soll im Sektor private Haushalte dieses Bedürfnis anders gedeckt werden. Zugleich werden fossile Energieträger durch alternative Energieträger abgelöst. Kohle soll vollständig verschwinden, als auch Heizöl. Erdgas wird bis zu 10% durch Biogas ersetzt. Die Solarthermie wird stark ausgebaut und folglich zum wichtigsten Energieträger zur Erzeugung von Warmwasser. Holz als Ressource wird künftig weniger zur Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser gebraucht, sondern verlagert sich mehr zur Produktion von Biotreibstoffen und Strom.<sup>88</sup>

Der Dienstleistungssektor fokussiert sich zur Erreichung gesetzter Energie- und Klimaziele ähnlich wie der Sektor private Haushalte auf die Einhaltung von Gebäudestandards. Es wird eine Wärmepumpe-Strategie verfolgt, die keine Neuinstallationen von Elektrodirektheizungen erfordert. In Hinblick auf die Elektrizitätsnachfrage wird der Einsatz neuer Schlüsseltechnologien unterstellt.<sup>89</sup> Durch den stärkeren Einsatz von Wärmepumpen, Wärmetransformatoren, Solarwärme und Biogas wird der Anstieg erneuerbarer Energien des Gesamtverbrauchs Dienstleistungssektor begründet.<sup>90</sup>

Bezüglich des Ziels wird im Industriesektor ein ambitionierter, konservativer Ansatz gewählt. Das Potential Energie einzusparen basiert auf den bereits heute verwendeten Technologien. Ferner wird eine strategische Energieträgersubstitution angenommen. Durch den Einsatz von Biokohle reduziert sich die Verwendung von Kohle und Holz und zugunsten von Biogas begrenzt sich der Einsatz von Flüssiggas und Erdgas. Ausgangspunkt ist in diesem Sektor die Annahme, dass sich die Produzenten für die aktuell am energiesparendste Technologie entscheiden.<sup>91</sup>

Im Verkehrssektor gilt, dass in erster Linie alle technischen Potentiale genutzt werden und in zweiter Linie auf ergänzende und komplementäre Ansätze zurückgegrif-

---

<sup>88</sup> BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 369

<sup>89</sup> BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 390

<sup>90</sup> BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 396

<sup>91</sup> BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 400-401

fen wird. Grundsätzlich gilt die Effizienzstrategie. Sie beinhaltet die breitbandige Nutzung aller technischer Optionen zur Effizienzsteigerung. Der motorisierte Individualverkehr steht im Fokus, wobei die Elektromobilität eine Schlüsseltechnologie darstellt. Im Weiteren gilt es eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Intensität von Treibstoffen zu erreichen. Die Elektromobilität ist wenig geeignet für den Strassengüterverkehr als auch für den Flugverkehr. Für diese Segmente stellen biogene Treibstoffe eine Möglichkeit dar, die CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren. Hinzu kommen Strategien der Verkehrsorganisation. Durch Ausrichtung der Siedlungsstrukturen und Verkehrsangeboten sollen leistungsfähige Formen der Mobilität gefunden werden. Überdies soll eine Verringerung der Transportintensität stattfinden, indem die zu fahrenden Distanzen reduziert werden.<sup>92</sup>

Diese Umsetzungen in den Sektoren führen zu einer rasanten Abnahme des Endenergieverbrauchs.<sup>93</sup>

Werden nun die Verbraucherdaten der Sektoren betrachtet, kann man von einer Zunahme des Verbrauchs ausgehen, wobei hier nicht in erneuerbar und nicht erneuerbar unterschieden wird.<sup>94</sup>

POSITIVES SZENARIO		2014	2030	2050
Endenergieverbrauch	TJ	825'800	603'000	450'600
Private Haushalte	%	26,5	30,4	27,5
	TJ	219'000	183'300	124'100
Industrie	%	19,0	22,3	23,2
	TJ	156'870	134'400	104'400
Dienstleistungen	%	15,8	20,6	23,7
	TJ	130'810	124'3000	106'600
Verkehr	%	37,7	26,4	25,6
	TJ	311'680	161'000	115'500
Statistische Differenz	TJ	7'410	9'400	7'000

<sup>92</sup> BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 415-416

<sup>93</sup> Vgl. Tabelle 10

<sup>94</sup> Vgl. Tabelle 10



inkl. Landwirtschaft				
----------------------	--	--	--	--

Tabelle 10: Endenergieverbrauch nach Sektoren im positiven Szenario (Quellen vgl. Anhang, eigene Darstellung)

Insgesamt ist beobachtbar, dass der gesamte Energieverbrauch bis 2050 in allen Sektoren zurückgeht. Der Verbrauch des Sektors Private Haushalte nimmt stark ab, aber prozentual betrachtet steigt er um ein Prozent bis 2050. Grund dafür liegt in den weit höheren Gebäudestandards bei Neubauten und Sanierungen. Im Industrie- und Dienstleistungssektor wird verhältnismässig eine Zunahme des Anteils am Endenergieverbrauch erwartet. Im Dienstleistungssektor findet auch der Trend höherer Gebäudestandards statt, allerdings wird dieser von einer überproportionalen Stromnachfrage, ausgelöst durch vermehrte Kühlung und produktionsbedingte Antriebe, überlagert, so dass in dem Sektor die Verminderung der Gesamtenergie mit 28% am limitiertesten ist. Einzig im Verkehr wird sich ein Rückgang ergeben. Wie oben bereits erwähnt führt dies auf die Effizienzstrategie zurück, mit der trotz steigender Fahrleistung Energie eingespart werden kann.<sup>95</sup>

Die Verwendung erneuerbarer Energien macht auf Sektorebene bei den privaten Haushalten mit 39% den grössten Teil aus. Diese setzen sich aus Wärmepumpen Holz und Solarenergie zusammen. Im Dienstleistungssektor machen 2050 erneuerbare Energien 17% aus. Der Anteil des Industriesektors sinkt um 11% auf 15% und der des Verkehrs steigt von praktisch 0% auf 29%.<sup>96</sup>

Zuletzt wird der Schweizer Elektrizitätsverbrauch in der unten folgenden Tabelle veranschaulicht und erläutert.

POSITIVES SZENARIO	Einheit	2014	2030	2050
Elektrizitätsverbrauch total	TJ	207'000	200'600	190'900
Elektrizitätsverbrauch erneuerbar	%	58,8	72,2	79,6
	TJ	115'506	144'793	151'957
Elektrizitätsverbrauch nicht erneuerbar	%	41,2	27,8	20,4
	TJ	91'494	55'807	38'925

Tabelle 11: Elektrizitätsverbrauch des positiven Szenarios (Quellen vgl. Anhang, eigene Darstellung)

<sup>95</sup> BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 429-431

<sup>96</sup> BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 440

Vorletztes Jahr betrug der Stromverbrauch 207'000 TJ, davon waren 58,8% erneuerbare und 41,2% nicht erneuerbar. Dessen genaue Zusammensetzung befindet sich im Kapitel „Ist-Zustand“. Bis 2030 senkt sich der gesamte Verbrauch auf 200'600 TJ. Nochmals ein Fünftel Jahrhundert später beläuft sich dieser auf 190'900 TJ t.<sup>97</sup>

Durch die fallende Nachfrage nach Heizöl und Gas steigt der Anteil der Elektrizität. Der erneuerbare Anteil beläuft sich auf 79,6%.<sup>98</sup>

Stellt man die Stromnachfrage und die künftige Stromerzeugung des bestehenden Kraftwerksparks gegenüber, ist im Winterhalbjahr 2019 ersichtlich, dass die Nachfrage das Angebot überschreitet. Wesentlicher Grund ist hier das Auslaufen der Bezugsrechte und die Stilllegung des Kernkraftwerks Beznau I. Nach 2019 wird diese hypothetische Lücke grösstenteils durch das Auslaufen der übrigen Bezugsrechte und die Ausserbetriebnahme der Kernkraftwerke grösser. Im Szenario erreicht die Stromlücke im Jahr 2035 ihren Höhepunkt mit 90'720 TJ, danach nimmt sie wieder leicht ab durch den sinkenden Landesverbrauch, bis sie 2050 88'344 TJ erreicht.<sup>99</sup>

Um diese Stromlücke zu decken, werden einerseits als Ersatz der Kernkraftwerke neue Gaskombikraftwerke hinzugezogen. Kommt es beispielsweise im Sommer zu einer Überdeckung der Stromnachfrage, können die Volllaststunden des Gaskombikraftwerkes verringert werden. Diese Kraftwerke gelten also als regelfähig. Zudem wird ein hoher Zubau von erneuerbaren Stromerzeugungstechnologien und Wasserkraftwerken erwartet. Zuletzt setzt man auf einen niederen Zubau von fossilen Wärme-Kraft-Koppelungsanlagen.<sup>100</sup>

Es lässt sich also sagen, dass, einer der wichtigsten Punkte dieses Szenarios die Ausschöpfung der Nutzung aller Effizienzoptionen mit aktuellen Technologien ist. Das beinhaltet die Elektromobilitätsstrategie für den Personenverkehr und eine moderate Wärmepumpstrategie. Zentral ist auch die Substitution fossiler Brenn- und Treibstoffen. Gesetzt wird im Weiteren auf die Weiterentwicklung neuer Schlüsseltechnologien im Material- und Produktionsbereich.<sup>101</sup>

---

<sup>97</sup> Vgl. Tabelle 11

<sup>98</sup> Vgl. Tabelle 11

<sup>99</sup> BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 448-450

<sup>100</sup> BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 459

<sup>101</sup> BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 88-91

## 5.4 Das negative Zukunftsszenario

Das letzte Szenario beschreibt eine Zukunft mit einer Fortsetzung der bisherigen Energiepolitik ohne Verstärkungen, aber auch ohne substanzielle Reduktion gegenüber den letzten Jahren. Die Hauptinstrumente dieses Szenarios sind eine Ausstattung des Gebäudeprogramms, eine Steigung der CO<sub>2</sub>-Abgabe, weiterentwickelte Vorschriften und Standards im Baurecht, eine Einführung der kostenorientierten Einspeisevergütung für erneuerbare Stromerzeugung, die wettbewerbliche Ausschreibung für Energieeffizienz und die Flottengrenze für Personenwagen.<sup>102</sup>

Zuerst werden auch in diesem Szenario die Rahmendaten veranschaulicht.

NEGATIVES SZENARIO		2014	2030	2050
Bevölkerung	Mio.	8,24	8,8	9,0
Anzahl private Haushalte	Mio.	3,585	4,207	4,384
Fahrleistung gesamter Personenverkehr	Mrd. Pkm	122,9	141,1	151,3
Treibhausgas-Emissionen	Mio. t CO <sub>2</sub> eq	48,71	48,0	45,2

Tabelle 12: Rahmendaten des negativen Szenarios (Quellen vgl. Anhang, eigene Darstellung)

Wie hier ersichtlich ist, stimmen die Daten mit denen des Trendszenarios überein, ausser die der Schadstoffemissionen, welche hier bedeutend höher sind als in den vorigen zwei Szenarien. Bis im Jahr 2050 werden sich die Treibhausgas-Emissionen um nur 3,5 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>eq verringern.<sup>103</sup>

Auf wirtschaftlicher Ebene werden die exakt gleiche Veränderungen wie im Trendszenario angenommen, auch hier steigt das BIP pro Kopf bis auf 88,6 Tausend Schweizer Franken. Die Preise für Elektrizität, Fernwärme, Öl und Gas nehmen auch alle zu.<sup>104</sup>

NEGATIVES SZENARIO	Einheit	2014	2030	2050
BIP pro Kopf	Tausend CHF	78,43	76,3	88,6
Preis Elektrizität	Rp./kWh	25,2	27,8	28,8
Preis Fernwärme	CHF/GJ	26,1	31,9	35,3

<sup>102</sup> BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 491

<sup>103</sup> Vgl. Tabelle 12

<sup>104</sup> Vgl. Tabelle 13

Preis Öl	CHF/Barrel	79 <sup>105</sup>	102	88
Preis Gas	CHF/Tonne	321 <sup>106</sup>	627	649

Tabelle 13: Politische und wirtschaftliche Rahmendaten des negativen Szenarios (Quellen vgl. Anhang, eigene Darstellung)

Werden nun die konkreten Veränderungen im Bereich Energie observiert, so wird ersichtlich, dass sich der Schweizer Endenergieverbrauch zwar reduziert, aber verglichen mit den andern Szenarien sind hier nur unbedeutende Senkungen festzustellen.<sup>107</sup>

NEGATIVES SZENARIO	Einheit	2014	2030	2050
Endenergieverbrauch total	TJ	825'800	730'300	658'200
Endenergieverbrauch erneuerbar	%	21,4	34,8	42,6
	TJ	176'900	253'925	280'393
Endenergieverbrauch nicht erneuerbar	%	78,6	65,2	57,4
	TJ	648'870	476,375	377'807
Davon fossile Energieträger	%	65,25	93,5	57,4
	TJ	538'820	445'415	377'807
Davon nukleare Energieträger	%	11,5	6,5	0
	TJ	94'930	30'960	0

Tabelle 14: Endenergieverbrauch des negativen Szenarios (Quellen vgl. Anhang, eigene Darstellung)

Bis im Jahr 2030 vermindert sich der Endverbrauch um knapp 100 TJ und bis 2050 nochmals um circa 70 TJ, dass dieser Wert zur untersuchten Zeit 658'200 TJ entspricht. Aufgeteilt in erneuerbare und nicht erneuerbare Energien ergibt sich momentan ein Verhältnis von 2:7. Bis 2030 erhöht sich der Betrag erneuerbarer Energien bis auf 253'925 TJ, kurz von 21,4% bis auf 34,8%. Der Gegenspieler verringert sich von 648'870 TJ auf 476'375. Hier liefern Kernkraftwerke noch 30'969 TJ, was 6,5% entspricht, der Rest sind fossile Energieträger. Das Verhältnis erneuerbar – nicht erneuerbar entspricht im Jahr 2050 etwa 4:6, wobei nur fossile Ressourcen beteiligt sind. Der Verbrauch fossiler Energien sinkt um 1000 TJ, derjenige erneuerbaren Ursprungs steigt um 270 TJ.<sup>108</sup>

<sup>105</sup> Wert von 2010, aufgrund starker Schwankungen im Jahr 2014

<sup>106</sup> Wert von 2010, Anpassung an Ölpreis

<sup>107</sup> Vgl. Tabelle 14

<sup>108</sup> Vgl. Tabelle 14

Wird ein Blick auf die Verbrauchergruppen geworfen, verteilt sich hier der Verbrauch ähnlich wie im Trendszenario.

NEGATIVES SZENARIO		2014	2030	2050
Endenergieverbrauch	TJ	825'800	730'300	658'200
Private Haushalte	%	26,5	30	27,7
	TJ	219'000	219'400	182,500
Industrie	%	19,0	21,7	21,7
	TJ	156'870	158'500	142'800
Dienstleistungen	%	15,8	20,3	23,7
	TJ	130'810	148'500	156'100
Verkehr	%	37,7	28,0	26,9
	TJ	311'680	203'900	176'800
Statistische Differenz inkl. Landwirtschaft	TJ	7'410	11'400	10'300

Tabelle 15: Endenergieverbrauch nach Sektoren im negativen Szenario (Quellen vgl. Anhang, eigene Darstellung)

Der Sektor Private Haushalte steigt um 400 TJ bis 2030 und nimmt in den nächsten 20 Jahre wieder ab, so dass der Wert 2050 182'500 TJ, was 27,7% sind, hoch ist. Hier sinkt hauptsächlich der Verbrauch an Raumwärme, Warmwasser, Kochen und Beleuchtung. In der Industrie steigt der Verbrauch leicht, und bleibt zwischen 2030 und 2050 prozentual gesehen auf Gleichstand. Hier wächst primär die Chemiebranche und die der Elektrotechnik. Im gleichen Zeitraum wachsen auch der Maschinenbau und das Baugewerbe. Als Pendant sinkt der Energieverbrauch aller Grundstoffbranchen wie Papierherstellung, Metallgewinnung oder auch Mineralienverarbeitung. Der Endverbrauch des folgenden Sektors, der des Dienstleistungssektors, nimmt zu. Auch hier ist ein Rückgang des Raumwärmeverbrauchs zu erwarten, was sich trotz einem Zubau neuer Gebäudeflächen vor allem durch die Effizienzsteigerung der Technologien erklären lässt. Der Verbrauch von Warmwasser und Beleuchtung bleibt etwa konstant, hingegen in den Bereichen Klima, Lüftung & Haustechnik als auch Antriebe & Prozessor steigt der Verbrauch stärker an. Der Anteil des gesamtschwei-

zerischen Endenergieverbrauchs am Verkehr reduziert sich um ein bisschen mehr als 10% in den nächsten zwei Jahrzehnten und beträgt 2050 schliesslich 176'800 TJ.<sup>109</sup>

Wie bereits erwähnt wird sich ebenfalls in diesem Szenario eine Steigerung beim Elektrizitätsverbrauch in Relation zum Gesamtverbrauch entwickeln.

NEGATIVES SZENARIO	Einheit	2014	2030	2050
Elektrizitätsverbrauch total	TJ	207'000	227'800	248'500
Elektrizitätsverbrauch erneuerbar	%	58,8	65,6	63,0
	TJ	115'506	149'437	156'431
Elektrizitätsverbrauch nicht erneuerbar	%	41,2	34,4	37,0
	TJ	91'494	78'363	92'069

Tabelle 16: Elektrizitätsverbrauch des negativen Szenarios (Quellen vgl. Anhang, eigene Darstellung)

Allerdings steigt der Stromverbrauch hier am stärksten empor. Bis 2030 wächst er um 20'000 TJ und bis 2050 erhöht er sich um den selben Wert bis er 248'500 TJ beträgt. Der Anteil erneuerbarer Energien steigt von 115'506 TJ (58,8%) bis 2030 auf 149'437 TJ (65,6%). Im Jahr 2050 nimmt er prozentual wieder leicht ab auf 63%. Folglich beträgt der nicht erneuerbare Anteil 2050 37%, was 92'069 TJ entspricht.<sup>110</sup>

Zusammenfassend lässt sich nochmals sagen, dass dieses Szenario der bisherigen Energiepolitik ohne Verstärkung entspricht. Mit dem Gebäudeprogramm werden die energetische Sanierung von Gebäuden sowie in mindermem Umfang erneuerbare Ressourcen in Gebäuden gefördert. Durch Weiterführung und Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Abgabe auf fossile Brennstoffe sollen diese Emissionen gesenkt werden. Mit dem Förderinstrument der wettbewerblichen Ausschreibungen für Energieeffizienz können Industrie- und Dienstleistungsbetriebe mit einer hohen Ausstattung versorgt werden. Im Verkehrssektor sind Flottengrenzen, speziell ab 2030 ein fundamentales Instrument. Hinzu kommt die Förderung erneuerbarer Energien durch kostenorientierte Einspeisevergütung, finanziert durch eine Umlage. All diese bestehenden ordnungsrechtlichen Massnahmen bleiben bestehen, oder werden folglich dem technischen

<sup>109</sup> BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 261-278 & vgl. Tabelle 15

<sup>110</sup> Vgl. Tabelle 16

Fortschritt nachgeführt.<sup>111</sup>

## **5.5 Strategien und Massnahmen zur Umsetzung**

Schon im positiven Szenario wurden zur Erklärung der Senkung des Endenergieverbrauchs einige Massnahmen erläutert. In diesem Teil sollen diese technischen Aspekte einerseits kurz aufgegriffen werden, andererseits soll dieser Teil soziale Aspekte beinhalten. Es stellt sich dabei also die Frage, was kann Ich als Einzelperson zur Energiewende beitragen und was können wir als Gruppe dazu beitragen.

Zuerst wird der umfangreiche Punkt Energieeffizienz mit seinen Unterteilungen erläutert, darauf folgen erneuerbare Energien, Energieabgaben und fossile Kraftwerke.

### **5.5.1 Energieeffizienz**

Die Gebäude der Schweiz verbrauchen aktuell sehr viel Energie, hauptsächlich in Form von Elektrizität. Ziel ist es, diesen Verbrauch deutlich zu senken, respektive die Energie möglichst wirkungsvoll zu nutzen. Durch eine Verschärfung der Mustervorschriften im Energiebereich soll dies einerseits erreicht werden. Das beinhaltet die Erhöhung der Sanierungsrate, die Verschärfung von Vorschriften für Neubauten sowie Umbauten, eine verstärkte Durchsetzung für Elektrizität im Hochbau und zudem sollen Energieinspektionen für Gebäudetechnik eingeführt werden. Im Weiteren wird auf die Verstärkung des Gebäudeprogramms gesetzt. Hierbei sollen einerseits Ersatze für Elektroheizungen, die Umstellung auf erneuerbare Energien im Sanierungsbereich sowie Nah- und Fernwärmenetze und Anschlüsse gefördert werden. Es sollen aber auch Anreize für den Ersatz fossiler Feuerungen gemacht werden. Als dritter Aspekt des Punktes „Gebäude“ setzt man auf eine Anpassung der Steuerreform, das heisst, die Sanierungsrate soll erhöht werden und die bestehenden Mitnahmeeffekte verringert werden. Es sollen Steuerabzüge für energetische Massnahmen bei einem Bauwerk gewährt werden, wenn bestimmte Kriterien erfüllt werden. Bei einer Gesamtanierung sollen die gesamten Kosten über mehrere Jahre von den Steuern abgezogen werden können.<sup>112</sup>

Nicht nur Gebäude, sondern auch der industrie- und Dienstleistungssektor haben ein grosses Potential Einsparungen zu machen. Ein grosser Teil der Energie soll mit Massnahmen für Antriebe und industrielle Prozesse eingespart werden, das Übrige

---

<sup>111</sup> BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 86

<sup>112</sup> Bundesrat: Erste Massnahmen Energiestrategie, 2012 (PDF), S.1-2

mit jenen in den Bereichen Gebäude und Geräte. Hierzu soll die Stromproduktion aus nicht anders verwertbarer Abwärme gefördert werden und Unternehmen sollen sich von bestimmten Abgaben befreien können, wenn sie bestimmte CO<sub>2</sub>- und Energieeffizienzziele einhalten, um Anreize zur Energieeinsparung zu schaffen. Zudem sollen wettbewerbliche Ausschreibungen zur Förderung der Stromeffizienz ausgebaut werden.<sup>113</sup>

Mit gut einem Drittel des Gesamtverbrauchs verbraucht der Verkehr sehr viel Energie, grösstenteils fossilen Ursprungs. Um diesen einzudämmen, werden bestimmte Verbrauchsvorschriften vorgeschlagen, wie Effizienzvorgaben im Schienenverkehr, eine weitere Verschärfung der CO<sub>2</sub>-Emissionsvorschriften und eine je nach dem höhere oder niedere Automobilsteuer für effiziente Personenwagen, aber auch eine vernetzte verkehrsübergreifende Mobilität wird als Ansatz gewählt. In der Verkehrsinfrastruktur werden vor allem möglichst effiziente Technologien für den Bau und die Erweiterung der Verkehrsinfrastruktur erwartet. Zudem gibt es ein Pilotprojekt, dass die Überdachung von Nationalstrassen mit Photovoltaik vorsieht, um direkt Energie aus der Infrastruktur zu gewinnen.<sup>114</sup> Mit der Elektromobilität kann man in diesem Sektor viel an Treibstoff einsparen, aber auch durch die gleichwertige Ersetzung des Treibstoffes von Bioprodukten. Allerdings enthalten beide Ansätze einige Störfaktoren. Um nun den gesamten verkehr mit Bioprodukten zu versehen, bräuchten wir Unmengen von Anpflanzungsmöglichkeiten. Die Alternative, ein Wegkommen dieser Ölbrennstoffe, ist die Elektromobilität. Bezogen auf die Infrastruktur gibt das eine enorme Veränderung. Jede und jeder muss in der Nacht sein Auto aufladen, das heisst, es braucht auch tagsüber, beispielsweise beim Arbeitsgeber, Garagen mit Stromanschlüssen. In diesem Fall muss in der Stadt eine neue Stromstruktur aufgebaut werden. Gelingt dies, sind Kurzstrecken gut möglich zu bestreiten. Für Langstrecken sieht dies wiederum anders aus. Autos mit Batterien zu versehen ist an für sich technologisch gesehen nur ein kleines Problem, das Hauptproblem ist, genug Energie zu haben, also die gesamte Infrastruktur.<sup>115</sup>

Der Elektrizitätsverbrauch in den Bereichen Kochen, Informatik und Kommunikation sowie Unterhaltungsmedien, kurz Elektrogeräte, sollte dringend eingegrenzt werden. Gelingen kann dies einerseits durch Effizienzvorschriften, die auf weitere Geräteka-

---

<sup>113</sup> Bundesrat: Erste Massnahmen Energiestrategie, 2012 (PDF), S. 2-3

<sup>114</sup> Bundesrat: Erste Massnahmen Energiestrategie, 2012 (PDF), S. 3-4

<sup>115</sup> Vgl. Interview mit H. Weigt



tegorien ausgedehnt und regelmässig dem technologischen Fortschritt angepasst werden. Vorgesehen sind vor allem strenge Vorschriften für Elektromotoren. Ein weiteres Instrument sind Gebrauchsvorschriften, welche von den jeweiligen Kantonen eingeführt werden sollen. Sie beinhalten Strassenbeleuchtung, Beleuchtung von Schaufenstern, Fassaden, Gebäude und elektrische Beheizung von Aussenräumen. Durch den Ausbau der wettbewerblichen Ausschreibungen soll die Verwendung von Bestgeräten bzw. der frühzeitige Ersatz ineffizienter Geräte in Gebäuden und Unternehmen vorangetrieben werden.<sup>116</sup>

### **5.5.2 Erneuerbare Energien**

Wie oben schon erwähnt lag 2014 der Anteil erneuerbarer Energien am gesamtschweizerischen Endverbrauch bei 21,4%. Bei dem Stromverbrauch betrug der erneuerbare Anteil 55,8%.<sup>117</sup> Im positiven Szenario wird angenommen, dass der Anteil am Endverbrauch bis 2050 rund 87% beträgt, und der am Stromverbrauch etwa 80%. Mit den folgenden Massnahmen werden die Potenziale der erneuerbaren Energien bis Mitte 21. Jahrhundert erschlossen und gefördert.<sup>118</sup>

Es soll eine Erhöhung der Fördermittel der kostendeckenden Einspeisevergütung (KEV) stattfinden. Die KEV ist ein Instrument des Bundes, welches zur Förderung der erneuerbaren Stromproduktion genutzt wird. Sie deckt die Differenz zwischen Marktpreis und Produktionskosten und garantiert damit den Produzenten und Produzentinnen einen Preis, der den Produktionskosten nachkommen.<sup>119</sup> Im Weiteren sollen die Vergütungssätze des KEV optimiert werden, so dass sie schneller angepasst werden, um auf Preisschwankungen rascher reagieren zu können, und sie sollen auch so ausgerichtet sein, dass eine bedarfsgerechte Produktion angerechnet wird. Ein anderer Punkt ist die Tiefengeothermie und deren Förderung durch den Bund. Auf kantonaler Ebene soll sich das Verfahren der Bewilligung für Anlagen zur erneuerbaren Stromerzeugung vereinfachen.<sup>120</sup>

---

<sup>116</sup> Bundesrat: Erste Massnahmen Energiestrategie, 2012 (PDF), S. 4

<sup>117</sup> BfE: Schweizerische Statistik der Erneuerbaren Energien, Liestal 2015 (PDF), S. 5

<sup>118</sup> Siehe 5.3 (positives Szenario)

<sup>119</sup> BfE: Kostendeckende Einspeisevergütung,

<http://www.bfe.admin.ch/themen/00612/02073/index.html?lang=de> (9.10.2016)

<sup>120</sup> Bundesrat: Erste Massnahmen Energiestrategie, 2012 (PDF), S. 5-6

### 5.5.3 Energieabgaben

Bei der Nutzung nicht erneuerbarer Energien entstehen sogenannte externe Kosten, welche nicht in den Preis des Energieträgers eingerechnet sind. Die Preise auf Benzin, Kohle etc. ist in Relation zu den verursachten Kosten viel zu niedrig. Der Schaden wird ebenfalls oft nicht vom Konsumenten getragen, sondern von der breiten Bevölkerung. Würde man diese Kosten mit einberechnen, wären fossile Energieträger weniger attraktiv und gleichzeitig erneuerbare begehrenswerter. Steigen nun diese Preise, steht jede Person wieder vor der Frage, welche Energie er oder sie beziehen möchte. Lenkungsangaben als Gedankenreger sind eine gute Idee, die Problematik liegt allerdings in der Berechnung der Höhe dieser Kosten.<sup>121</sup>

### 5.5.4 Fossile Kraftwerke

Wie bei allen drei Szenarien in den Kapiteln 5.2, 5.3 und 5.4 ersichtlich wurde, entsteht erstmals im Winterhalbjahr 2019 eine hypothetische Stromlücke, da die Nachfrage das Angebot überschreitet. In diesem Abschnitt werden die Technologien, die zur Deckung dieser Lücke hinzugezogen werden, genauer erklärt. Es handelt sich dabei um neue Brückentechnologien, angetrieben durch fossile Brennstoffe, welche ausschliesslich in Betrieb genommen werden sollten, wenn andere erneuerbare Anlagen mit der Versorgung nicht nachkommen.

Die Wärme-Kraft-Koppelungsanlagen, kurz WKK, sind fossil betriebene Anlagen, die Wärme als auch Strom produzieren. Sie kompensieren im Winterhalbjahr die reduzierte Elektrizitätsproduktion aus Wasser und Sonne. Das Potenzial liegt bei rund 2 TWh Strom.<sup>122</sup>

Gaskombikraftwerke sind vor allem wegen des geringen WKK-Potenzials notwendig. Sie sollen die Netzstabilität gewährleisten, indem sie das ganze Jahr durch Strom liefern. Künftige Betreiber einer solchen Anlage sollen die CO<sub>2</sub>-Emissionen komplett kompensieren.<sup>123</sup>

### 5.5.5 Soziale Komponente

Nochmals zurück, wieso die Energiewende eigentlich notwendig ist. Einerseits sind erneuerbare Energien offensichtlich weniger klimaschädlich, denn sie sind CO<sub>2</sub>-neutral. Im Weiteren sind die fossilen Ressourcen begrenzt, also ein Auslaufen die-

---

<sup>121</sup> Vlg. Interview mit H. Weigt

<sup>122</sup> Bundesrat: Erste Massnahmen Energiestrategie, 2012 (PDF), S. 7

<sup>123</sup> Bundesrat: Erste Massnahmen Energiestrategie, 2012 (PDF), S. 7

ser Energieträger ist absehbar und je schneller wir auf erneuerbar umsteigen, desto weniger entsteht ein Versorgungsdefizit, da wir vorbereitet sind. Zu diesen beiden Aspekten der Endlichkeit und Klimaschädigung kommen die gesellschaftlichen Faktoren. Schon alleine bei der Gewinnung fossiler Energieträger sind viele Personen involviert, oftmals aus Regionen, die weniger entwickelt sind, folglich sind die Bedingungen der Rohstoffgewinnung fragwürdig. Genau an diesen Orten treten die externen Kosten auf und dort ist der Wohlstand nicht vorhanden, dieses Problem in den Griff zu bekommen. Lenkungsabgaben sind also nicht nur in Punkto Klima eine gute Idee, sondern auch mit moralischem Hintergrund definitiv nicht falsch.

Was vielleicht der wichtigste Punkt ist, ist das Bewusstsein für Energie. Wann braucht man überhaupt Energie und braucht man diese wirklich, genau diese beiden Fragen sind grundlegend im Alltag. Gerade bei Lebensmittel fehlt oft die Information, wie viel graue Energie in einem Produkt steckt. Da Leute immer dazu tendieren, die günstigeren Produkte zu wählen, wären saubere Preise unter Hinzufügung der Kosten der verbrauchten Energie eine gute Lösung. Aber auch hier ist das Problem der Berechnung dieser Kosten.

Fragt man sich bei allen Handlungen, ob man diese Energie wirklich braucht, um dann sagen zu können, ja oder nein, ohne sich dabei einschränken zu müssen.

## **5.6 Fazit**

Die Hypothese, dass die Schweiz bis 2050 auf Kernenergie verzichten kann, hat sich soweit verifiziert. Allerdings ist dies mit enormen Umstellungen und auch Risiken verbunden, die mir anfangs nicht bewusst waren. Aber die Annahme, komplett auf erneuerbare Energieträger umzusteigen, ist in dem gegebenen Zeitraum eher unrealistisch.

Selbst wenn die Schweiz bis 2050 alle Kernkraftwerke ausschaltet, wird sich, wie alle drei Szenarien gezeigt haben, eine Stromlücke ab 2019 ergeben. Diese gilt es zu schliessen, was einerseits mit dem Neubau eines Gaskombikraftwerks möglich ist, andererseits durch einen hohen Zubau erneuerbarer Stromerzeugungstechnologien und Wasserkraftwerken erreicht wird. Ferner wird ein geringer Zubau von fossilen Wärme-Kraft-Koppelungsanlagen erwartet.<sup>124</sup> Schlussfolgern lässt sich daraus, dass

---

<sup>124</sup> BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 459

die Schweiz zwar bis 2050 durchaus atomstromfrei sein kann, aber trotzdem noch auf andere fossile Energieträger, speziell auf das Erdgas, angewiesen ist.

Durch die Substitution fossiler Energieträger senkt sich auch der CO<sub>2</sub>-Verbrauch wie vor allem das positive Szenario gezeigt hat. Der Ausbau von Solar- und Windenergie wird wie angenommen einen Schub erfahren, eingeplant ist auch ein Projekt zur Gewinnung von Energie durch Isotopenzerfall im Erdinnern. Hingegen wird Wasserstoff bis 2050 ein weniger grosses bis gar kein Potenzial zugeschrieben, die Annahme hat sich also falsifiziert. Dass diese Faktoren zu einer Verbesserung des Lebensstandards beitragen ist für mich selbstverständlich, freilich lässt sich dies nicht so einfach messen. Das BIP pro Kopf als Indikator für Wohlstand steigt bis 2050 an, dies ist aber kein Garant für Glück. Finanziell werden wir unter der Energiewende sehr wahrscheinlich nicht leiden und durch das Vermeiden eines Atomunfalles wird viel Leid vermieden, also kann man sicher davon ausgehen, dass sich der Lebensstandard bei den in den Szenarien angenommenen Bedingungen nicht verschlechtern wird.

## **6. Zusammenfassung**

Mit der sogenannten Szenariotechnik wurden in den oberen Kapiteln drei Szenarien erstellt. Ein positives und ein negatives Extremszenario und ein Trendszenario. Die fünf untersuchten Unterthemen Endverbrauch, Elektrizitätsverbrauch, Verbrauchergruppen, politische und wirtschaftliche Rahmendaten sowie Gesellschaft wurden unterschiedlich nach Umfang und Bedeutung aufgeteilt und recherchiert. Quelle dieser Daten sind verschiedene, bereits erstellte Gesamt- als auch Teilszenarien. Durch ausführliche Bücher- und Internetrecherche wurden eigene Einschätzungen zu den fremden Szenarien gemacht und basierend darauf wurden realistische Daten ausgewählt und errechnet.

Das Trendszenario soll eine zukünftige Entwicklung bis 2050 darstellen, die dem Trend folgt, sprich es basiert auf den heutigen Technologien. Der Schwerpunkt liegt primär auf der Effizienzsteigerung.

Im negativen Szenario sind die Daten aufgrund einer Fortsetzung der bisherigen Energiepolitik und ohne substanzielle Reduktion gegenüber den Vorjahren entsprechend unvorteilhaft. In diesem Szenario reduziert sich der Endverbrauch am geringsten und auch die Anteile erneuerbarer Energien bleibt gering im Vergleich mit den anderen beiden Szenarien.

Das positive Szenario, der Schwerpunkt des praktischen Teils, fusst auf der Ausschöpfung der Nutzung aller Effizienzoptionen. Das beinhaltet unter anderem die Elektromobilitätsstrategie und die Wärmepumpenstrategie. Anders wie in den beiden weiteren Szenarien ist die Substitution von fossilen Brenn- und Treibstoffen im Mittelpunkt. Es wird zudem auf die Weiterentwicklung neuer Schlüsseltechnologien gesetzt. Hier sinkt der Endverbrauch von 825'800 TJ (2014) bis 2050 auf 450'600 TJ. Der Anteil erneuerbarer Energieträger liegt 2014 bei 21,4%, Ende des Betrachtungshorizonts soll dieser Wert 86,9% betragen.

In der folgenden Abbildung ist der Endenergieverbrauch, aufgeteilt in erneuerbarer und nicht erneuerbarer Anteil, aller drei Szenarien zum Ende des Betrachtungshorizonts im Jahr 2050 abgebildet.

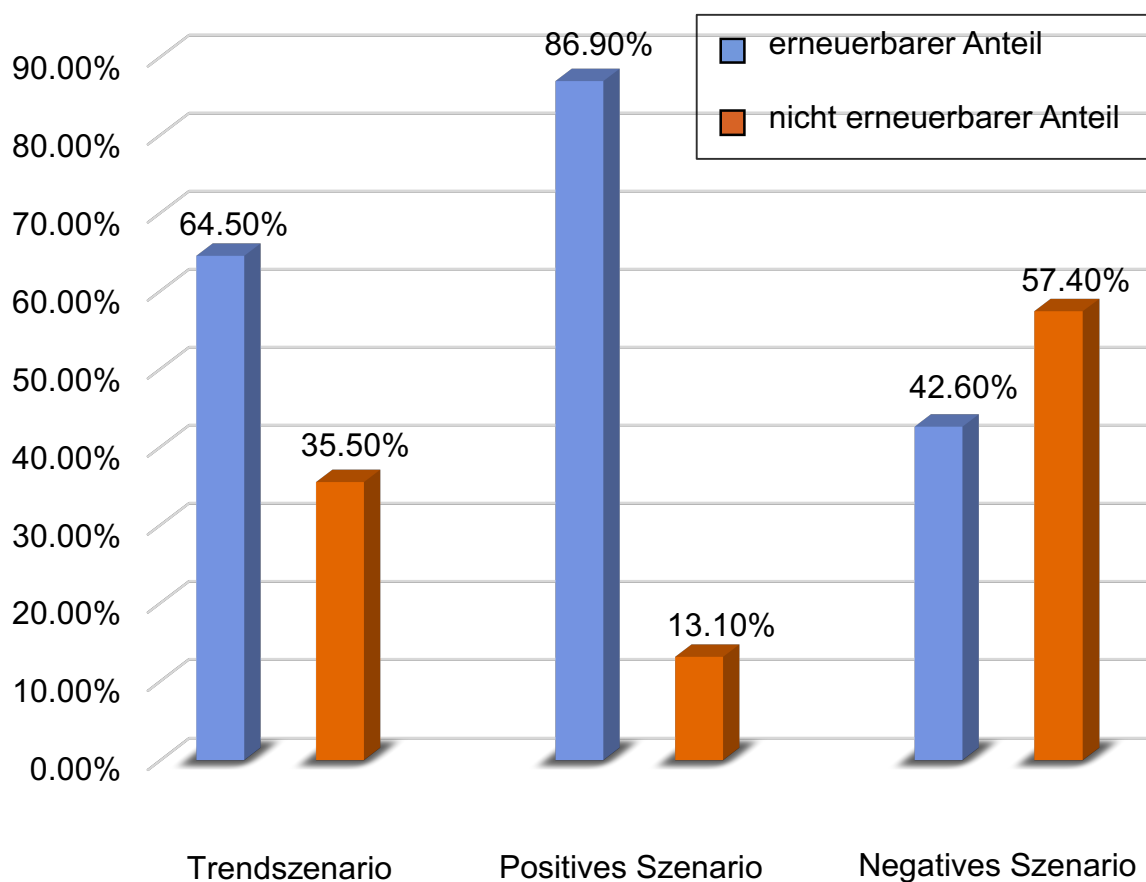


Abbildung 4: Erneuerbarer und nicht erneuerbarer Anteil aller drei Szenarien am Endverbrauch im Jahr 2050 (Quelle: Tabellen 5, 10 und 15, eigene Darstellung)

Wie das Wort „Szenario“ schon sagt, handelt es sich um eine mögliche Zukunftsentwicklung, nicht um eine Prognose. Um nun aber Werte wie im positiven Szenario bis 2050 Wirklichkeit werden zu lassen, sind einige Massnahmen vom Bund aber auch

von der Gesellschaft zu ergreifen. Der erste wichtige Punkt ist die Energieeffizienz. In den Bereichen Gebäude, Industrie, Dienstleistungen, Mobilität und Elektrogeräte gilt es, auf die Effizienz zu setzen und bestehende Technologien auszuarbeiten, während veraltete Technologien ersetzt werden. Der zweite Punkt sind erneuerbare Energien. Um diese attraktiver zu gestalten, sollen Fördermittel der kosteneckenden Einspeisevergütung, kurz KEV, erhöht werden. Indirekt durch Energieabgaben soll die erneuerbare Energienutzung gefördert werden, indem fossile Energien durch Abgaben teurer und somit unattraktiver gemacht werden. Durch den Einsatz von neuen fossilen Kraftwerken soll die hypothetische Stromlücke, welche bei allen Szenarien ab 2019 durch die Ausserbetriebnahme der Kernkraftwerke stattfindet und nicht durch erneuerbare Technologien gedeckt werden kann, überbrückt werden. Zu diesen Komponenten, basierend auf Technologie und Politik, kommen die sozialen Aspekte hinzu. Kernpunkt ist das Bewusstsein für Energie. Sobald man sich bewusst ist, welches Produkt oder welche Handlung wie viel Energie verbraucht, kann man das Verhalten anpassen, ohne sich dabei direkt einzuschränken zu müssen.

## **7. Schlusswort**

Die intensive Beschäftigung mit diesem Thema, im Speziellen mit Energie im Allgemeinen, hat mir umso mehr verdeutlicht, wie wichtig Energie eigentlich ist. Ohne Energie geht nichts. Nicht nur bezogen auf die Wirtschaft, das Transportwesen oder unsere Versorgung, nein vielmehr ist Energie unser gesamter Antrieb. Das Zweite, was ich gelernt habe, ist die Wichtigkeit von dem Bewusstsein, was wieviel Energie verbraucht, um dann auch abwägen zu können, ob man das wirklich braucht.

Der Arbeitsprozess im Allgemeinen lässt sich als anfänglich sehr harmonisch und mit der Zeit als etwas holperig beschreiben. Der Theorieteil, welcher zu Beginn geschrieben wurde, bereitete mir viel Freude, vor allem das Recherchieren. Als dann aber die Zeit und Arbeit voranschritten, wurde es zunehmend komplexer. Die Datenzusammentragung war äusserst nervraubend, denn es gab unzählige sich widersprechende Aussagen in den untersuchten Studien und Szenarien. Oft mussten Werte, gerade die Prozentwerte, ausgerechnet werden, was bei so vielen Zahlen manchmal aussichtslos schien. Mit Mühe und viel Zeit gelang es aber doch. Beim Aufstellen der Szenarien ging viel Zeit verloren, da ich unsicher war, wie ich die ganze Sache gliedern soll und schlussendlich doch noch alles ändern wollte.

Meine anfängliche Angst, nach dieser Arbeit die Nase voll von Energieträgern und Energiepolitik zu haben, hat sich nicht bewährt, denn je mehr ich mich vertiefte, desto spannender wurde es.

Eine weitere grosse Schwierigkeit liegt in der Natur des Themas, denn dieses ist unglaublich vielseitig und extrem schwer zu erfassen. Ich hoffe, mir ist es dennoch gelungen, einige Aspekte und ihre gegenseitige Beeinflussung richtig zu beschreiben.

In dem letzten Satz dieser Arbeit möchte ich nochmals betonen, dass es in der Hand von jedem und jeder Einzelnen liegt, wie die Zukunft ausfallen wird und wir nur gemeinsam eine derartige Veränderung bewirken können.

## 8. Quellen- und Literaturangaben (Bibliographie)

**Titelbild:** [http://static2.wn.de/var/storage/images/wn/startseite/muensterland/kreissteinfurt/lienen/2013/01/sozialseminar-die-energiewende-und-ich/34770719-2-ger-DE/Sozialseminar-Die-Energiewende-und-ich1\\_image\\_630\\_420f\\_wn.jpg](http://static2.wn.de/var/storage/images/wn/startseite/muensterland/kreissteinfurt/lienen/2013/01/sozialseminar-die-energiewende-und-ich/34770719-2-ger-DE/Sozialseminar-Die-Energiewende-und-ich1_image_630_420f_wn.jpg) (9.10.2016)

### **Bücher:**

[1] Albers O. und Broux A.: Zukunftswerkstatt und Szenariotechnik, Weinheim und Basel 1999, Beltz Verlag

[2] Bürke, T. & Wengenmayr R.: Erneuerbare Energie – Konzepte für die Energiewende, Weinheim 2012, Wiley-VCH Verlag

[3] Eidemüller, D.: Das nukleare Zeitalter, Stuttgart 2012, Hirzel Verlag

[4] Geitmann, S.: Erneuerbare Energien – Mit neuer Energie in die Zukunft, Berlin 2010, Hydrogeit Verlag

[5] Hennicke, P. und Bodach, S.: Energie Revolution, München 2010, Oekom

[6] Kleinknecht, K.: Risiko Energiewende, Berlin Heidelberg 2015, Springer-Verlag

[7] Schütz, M.: Atomkraftwerke; Grundlagen - Nutzung - Gefahren der Radioaktivität, Friedberg 2011, Verlagshaus Schlosser

[8] Wagner, H.: Was sind die Energien des 21. Jahrhunderts? Der Wettlauf um die Lagerstätten, Frankfurt am Main 2010, Fischer Verlag

### **PDF:**

[1] BAFU: Treibhausgasemissionen der Schweiz - Emissionsperspektiven bis 2050, 2015 (PDF), <http://www.bafu.admin.ch/klima/13879/13880/14488/index.html?lang=de> (9.10.2016)

[2] BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), <https://www.prognos.com/publikationen/alle-publikationen/292/show/7f9a4382d75cc40032147306d423aaca/> (9.10.2016)

[3] BfS: Energie: Panorama, 2016 (PDF), <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/08/01/pan.html> (9.10.2016)

[4] BfE: Ex-Post-Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 bis 2014, Bern 2015, Prognos AG (PDF), [http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00542/02721/index.html?lang=de&doossier\\_id=02722](http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00542/02721/index.html?lang=de&doossier_id=02722) (9.10.2016)

[5] BfE: Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2014, Bern 2015, myclimate (PDF), [http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00542/00630/index.html?lang=de&doossier\\_id=00765](http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00542/00630/index.html?lang=de&doossier_id=00765) (9.10.2016)



[6] BfE: Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2014, Bern 2015, myclimate (PDF), ([http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00542/00631/index.html?lang=de&dossier\\_id=00763](http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00542/00631/index.html?lang=de&dossier_id=00763)) (9.10.2016)

[7] BfE: Schweizerische Statistik der Erneuerbaren Energien, Liestal 2015 (PDF), [http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00543/index.html?lang=de&dossier\\_id=00772](http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00543/index.html?lang=de&dossier_id=00772) (9.10.2016)

[8] BfE: Überblick über den Energieverbrauch der Schweiz im Jahr 2014, Bern 2015 (PDF), [http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00542/00631/index.html?dossier\\_id=00867](http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00542/00631/index.html?dossier_id=00867) (9.10.2016)

[9] Bundesrat: Erste Massnahmen Energiestrategie, 2012 (PDF), <https://www.news.admin.ch/news/message/attachments/26592.pdf> (9.10.2016)

### **Internetquellen:**

[1] BfE: Biomasse, <http://www.bfe.admin.ch/themen/00490/00496/index.html?lang=de> (9.10.2016)

[2] BfE: Erdgas, <http://www.bfe.admin.ch/themen/00486/00488/index.html?lang=de> (9.10.2016)

[3] BfE: Erdöl, <http://www.bfe.admin.ch/themen/00486/00487/index.html?lang=de> (9.10.2016)

[4] BfE: Geothermie, <http://www.bfe.admin.ch/themen/00490/00501/index.html?lang=de> (9.10.2016)

[5] BfE: Kohle, <http://www.bfe.admin.ch/themen/00486/00489/index.html?lang=de> (9.10.2016)

[6] BfE: Kostendeckende Einspeisevergütung, <http://www.bfe.admin.ch/themen/00612/02073/index.html?lang=de> (9.10.2016)

[7] BfE: Treibhausgasemissionen der Schweiz 1990-2014, Entwicklung der Emissionen von Treibhausgasen seit 1990 (April 2016) (9.19.2016)

[8] BfE: Wasserkraft, <http://www.bfe.admin.ch/themen/00490/00491/> (21.08.16)

[9] BfE: Windenergie, <http://www.bfe.admin.ch/themen/00490/00500/index.html?lang=de> (21.8.2016)

[10] BfS: Bestand der Haushalte 2014, [http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/01/01/new/nip\\_detail.html?gnplD=2015-059](http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/01/01/new/nip_detail.html?gnplD=2015-059) (9.10.2016)

[11] BfS: Bevölkerungsstand und Bevölkerungswachstum, <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/01/02/blank/key/bevoelkerungsstand.html> (9.10.2016)

- [12] BfS: BIP pro Einwohner, [http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/04/02/01/key/bip\\_einw.html](http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/04/02/01/key/bip_einw.html) (9.10.2016)
- [13] Cornelsen: Aus Wald entstand Kohle, [http://www.cornelsen.de/bgd/97/83/06/04/05/86/2/9783060405862\\_x1SE\\_048-049.pdf](http://www.cornelsen.de/bgd/97/83/06/04/05/86/2/9783060405862_x1SE_048-049.pdf) (9.10.2016)
- [14] Energieschweiz: Windenergie, <http://www.energieschweiz.ch/erneuerbare-energien/windenergie.aspx> (21.8.2016)
- [15] Energiesparen im Haushalt: Wie funktioniert Solarthermie, <http://www.energiesparen-im-haushalt.de/energie/bauen-und-modernisieren/hausbau-regenerative-energie/energiebewusst-bauen-wohnen/emission-alternative-heizung/heizen-mit-der-sonne-solar/solarthermie-funktionsweise.html> (9.10.2016)
- [16] Energiestiftung: Laufwasserkraftwerke, <http://www.energiestiftung.ch/erneuerbare-energien-laufwasserkraftwerke.html> (9.10.2016)
- [17] Gloor, R.: Energiedefinition, <http://www.energie.ch/energiedefinition> (12.8.2016)
- [18] Klimabündnis: Nicht erneuerbare Energie, [http://klimabuendnis.ch/cmsfiles/kmk\\_nicht\\_erneuerbare\\_energietraeger.pdf](http://klimabuendnis.ch/cmsfiles/kmk_nicht_erneuerbare_energietraeger.pdf) (10.4.2016)
- [19] PlanetWissen: Tschernobyl, [http://www.planet-wissen.de/technik/atomkraft/das\\_reaktionsglueck\\_von\\_tschernobyl/index.html](http://www.planet-wissen.de/technik/atomkraft/das_reaktionsglueck_von_tschernobyl/index.html) (9.8.2016)
- [20] Schatzwert: Erdgasvorkommen weltweit, <http://www.schatzwert.de/rohstoffe/erdgasvorkommen.html> (9.10.2016)
- [21] Schatzwert: Erdölvorkommen, <http://www.schatzwert.de/rohstoffe/erdoelvorkommen.html> (9.10.2016)
- [22] Schwarzwald Energy: Die Entstehung von Erdgas, <http://www.schwarzwald-energy.de/die-entstehung-von-erdgas.html> (9.10.2016)
- [23] Umweltnetz Schweiz: Gezeitenkraftwerke, <https://www.umweltnetz-schweiz.ch/themen/energie/item/1829-gezeitenkraftwerke-ebbe-und-flut-als-unerschöpfliche-energiequelle.html> (9.10.2016)
- [24] Wyss, R.: Immer mehr Erdwärme, <http://geothermie-schweiz.ch/geothermie/statistik/> (9.10.2016)

## 9. Anhang

### Quellenverweise der Tabellen 2-16

#### **Tabelle 2: Rahmendaten des Trendszenarios**

Bevölkerung 2014: BfS: Bevölkerungsstand und Bevölkerungswachstum,  
<http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/01/02/blank/key/bevoelkerungsst and.html> (9.10.2016)

Bevölkerung 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 238

Anzahl private Haushalte 2014: BfS: Bestand der Haushalte 2014,  
[http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/01/01/new/nip\\_detail.html?gnplD =2015-059](http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/01/01/new/nip_detail.html?gnplD =2015-059) (9.10.2016)

Anzahl private Haushalte 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 241

Fahrleistung ges. Personenverkehr 2014: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 238

Fahrleistung ges. Personenverkehr 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 493

Treibhausgas-Emissionen 2014: BfE: Treibhausgasemissionen der Schweiz 1990-2014, Entwicklung der Emissionen von Treibhausgasen seit 1990 (April 2016) (9.19.2016)

Treibhausgas-Emissionen 2030&2050: BAFU: Treibhausgasemissionen der Schweiz- Emissionsperspektiven bis 2050, 2015 (PDF), S. 13-14

#### **Tabelle 3: Politische und wirtschaftliche Rahmendaten des Trendszenarios**

BIP pro Kopf 2014: BfS: BIP pro Einwohner,  
[http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/04/02/01/key/bip\\_einw.html](http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/04/02/01/key/bip_einw.html) (9.10.2016)

BIP pro Kopf 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 54

Preis Elektrizität 2014: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 238

Preis Elektrizität 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 493

Preis Fernwärme 2014: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 493

Preis Fernwärme 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 493

Preis Öl 2014: BAFU: Treibhausgasemissionen der Schweiz- Emissionsperspektiven bis 2050, 2015 (PDF), S. 5

Preis Öl 2030&2050: BAFU: Treibhausgasemissionen der Schweiz- Emissionsperspektiven bis 2050, 2015 (PDF), S. 5

Preis Gas 2014: BAFU: Treibhausgasemissionen der Schweiz- Emissionsperspektiven bis 2050, 2015 (PDF), S. 5

Preis Gas 2030&2050: BAFU: Treibhausgasemissionen der Schweiz- Emissionsperspektiven bis 2050, 2015 (PDF), S. 5

#### **Tabelle 4: Endenergieverbrauch des Trendszenarios**

Endenergieverbrauch total 2014: BfE: Ex-Post-Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 bis 2014, Bern 2015, Prognos AG (PDF), S. 20

Endenergieverbrauch total 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 491

Endenergieverbrauch erneuerbar 2014: BfE: Schweizerische Statistik der Erneuerbaren Energien, Liestal 2015 (PDF), S. 5

Endenergieverbrauch erneuerbar 2030&2050: BAFU: Treibhausgasemissionen der Schweiz - Emissionsperspektiven bis 2050, 2015 (PDF), S. 5-6 & BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 491

Endenergieverbrauch n. erneuerbar 2014: BfE: Schweizerische Statistik der Erneuerbaren Energien, Liestal 2015 (PDF), S. 5

Endenergieverbrauch n. erneuerbar 2030&2050: Endverbrauch aller Energieträger – Endverbrauch erneuerbarer Energieträger (Rechnung)

Davon fossile Energieträger 2014: BfE: Überblick über den Energieverbrauch der Schweiz im Jahr 2014, Bern 2015 (PDF), S. 2

Davon fossile Energieträger 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 491

Davon nukleare Energieträger 2014: BfE: Überblick über den Energieverbrauch der Schweiz im Jahr 2014, Bern 2015 (PDF), S. 5

Davon nukleare Energieträger 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 493

### **Tabelle 5: Endenergieverbrauch nach Sektoren im Trendszenario**

Private Haushalte 2014: BfE: Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2014, Bern 2015, myclimate (PDF), S. 3

Private Haushalte 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 493

Industrie 2014: BfE: Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2014, Bern 2015, myclimate (PDF), S. 3

Industrie 2030&2050: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 493

Dienstleistungen 2014: BfE: Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2014, Bern 2015, myclimate (PDF), S. 3

Dienstleistungen 2030&2050: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S.493

Verkehr 2014: BfE: Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2014, Bern 2015, myclimate (PDF), S. 3

Verkehr 2030&2050: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 493

Stat. Differenz 2014: BfE: Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2014, Bern 2015, myclimate (PDF), S. 3

Stat. Differenz 2030&2050: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 493

### **Tabelle 6: Elektrizitätsverbrauch des Trendszenarios**

Elektrizitätsverbrauch total 2014: BfE: Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2014, Bern 2015, myclimate (PDF), S. 4

Elektrizitätsverbrauch total 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 491

Elektrizitätsverbrauch erneuerbar 2014: BfE: Schweizerische Statistik der Erneuerbaren Energien, Liestal 2015 (PDF), S. 6

Elektrizitätsverbrauch erneuerbar 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 578

Elektrizitätsverbrauch n. erneuerbar 2014: BfE: Schweizerische Statistik der Erneuerbaren Energien, Liestal 2015 (PDF), S. 6

Elektrizitätsverbrauch n. erneuerbar 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 578

### **Tabelle 7: Rahmendaten des positiven Szenarios**

Bevölkerung 2014: BfS: Bevölkerungsstand und Bevölkerungswachstum, <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/01/02/blank/key/bevoelkerungsstand.html> (9.10.2016)

Bevölkerung 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 238

Anzahl private Haushalte 2014: BfS: Bestand der Haushalte 2014, [http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/01/01/new/nip\\_detail.html?gnpID=2015-059](http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/01/01/new/nip_detail.html?gnpID=2015-059) (9.10.2016)

Anzahl private Haushalte 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 241

Fahrleistung ges. Personenverkehr 2014: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 238

Fahrleistung ges. Personenverkehr 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 367

Treibhausgas-Emissionen 2014: BfE: Treibhausgasemissionen der Schweiz 1990-2014, Entwicklung der Emissionen von Treibhausgasen seit 1990 (April 2016) (9.19.2016)

Treibhausgas-Emissionen 2030&2050: BAFU: Treibhausgasemissionen der Schweiz - Emissionsperspektiven bis 2050, 2015 (PDF), S. 13-14

### **Tabelle 8: Politische und wirtschaftliche Rahmendaten des positiven Szenarios**

BIP pro Kopf 2014: BfS: BIP pro Einwohner, [http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/04/02/01/key/bip\\_einw.html](http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/04/02/01/key/bip_einw.html) (9.10.2016)

BIP pro Kopf 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 54

Preis Elektrizität 2014: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 238

Preis Elektrizität 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 367

Preis Fernwärme 2014: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 493

Preis Fernwärme 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 367

Preis Öl 2014: BAFU: Treibhausgasemissionen der Schweiz- Emissionsperspektiven bis 2050, 2015 (PDF), S. 5

Preis Öl 2030&2050: BAFU: Treibhausgasemissionen der Schweiz- Emissionsperspektiven bis 2050, 2015 (PDF), S. 5

Preis Gas 2014: BAFU: Treibhausgasemissionen der Schweiz- Emissionsperspektiven bis 2050, 2015 (PDF), S. 5

Preis Gas 2030&2050: BAFU: Treibhausgasemissionen der Schweiz- Emissionsperspektiven bis 2050, 2015 (PDF), S. 5

### **Tabelle 9: Endenergieverbrauch des positiven Szenarios**

Endenergieverbrauch total 2014: BfE: Ex-Post-Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 bis 2014, Bern 2015, Prognos AG (PDF), S. 20

Endenergieverbrauch total 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 365

Endenergieverbrauch erneuerbar 2014: BfE: Schweizerische Statistik der Erneuerbaren Energien, Liestal 2015 (PDF), S. 5

Endenergieverbrauch erneuerbar 2030&2050: BAFU: Treibhausgasemissionen der Schweiz- Emissionsperspektiven bis 2050, 2015 (PDF), S. 5-6 & BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 365

Endenergieverbrauch n. erneuerbar 2014: BfE: Schweizerische Statistik der Erneuerbaren Energien, Liestal 2015 (PDF), S. 5

Endenergieverbrauch n. erneuerbar 2030&2050: Endverbrauch aller Energieträger – Endverbrauch erneuerbarer Energieträger (Rechnung)

Davon fossile Energieträger 2014: BfE: Überblick über den Energieverbrauch der Schweiz im Jahr 2014, Bern 2015 (PDF), S. 2

Davon fossile Energieträger 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 365

Davon nukleare Energieträger 2014: BfE: Überblick über den Energieverbrauch der Schweiz im Jahr 2014, Bern 2015 (PDF), S. 5

Davon nukleare Energieträger 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S.367

### **Tabelle 10: Endenergieverbrauch nach Sektoren im positiven Szenario**

Private Haushalte 2014: BfE: Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2014, Bern 2015, myclimate (PDF), S. 3

Private Haushalte 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S.367

Industrie 2014: BfE: Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2014, Bern 2015, myclimate (PDF), S. 3

Industrie 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S.367

Dienstleistungen 2014: BfE: Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2014, Bern 2015, myclimate (PDF), S. 3

Dienstleistungen 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S.367

Verkehr 2014: BfE: Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2014, Bern 2015, myclimate (PDF), S. 3

Verkehr 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S.367

Stat. Differenz 2014: BfE: Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2014, Bern 2015, myclimate (PDF), S. 3

Stat. Differenz 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S.367

### **Tabelle 11: Elektrizitätsverbrauch des positiven Szenarios**

Elektrizitätsverbrauch total 2014: BfE: Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2014, Bern 2015, myclimate (PDF), S. 4

Elektrizitätsverbrauch total 2030&2050: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF) S. 365)



Elektrizitätsverbrauch erneuerbar 2014: BfE: Schweizerische Statistik der Erneuerbaren Energien, Liestal 2015 (PDF), S. 6

Elektrizitätsverbrauch erneuerbar 2030&2050: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 455

Elektrizitätsverbrauch n. erneuerbar 2014: BfE: Schweizerische Statistik der Erneuerbaren Energien, Liestal 2015 (PDF), S. 6

Elektrizitätsverbrauch n. erneuerbar 2030&2050: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF) S. 455

### **Tabelle 12: Rahmendaten des negativen Szenarios**

Bevölkerung 2014: BfS: Bevölkerungsstand und Bevölkerungswachstum, <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/01/02/blank/key/bevoelkerungsstand.html> (9.10.2016)

Bevölkerung 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S.238

Anzahl private Haushalte 2014: BfS: Bestand der Haushalte 2014, [http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/01/01/new/nip\\_detail.html?gnplD=2015-059](http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/01/01/new/nip_detail.html?gnplD=2015-059) (9.10.2016)

Anzahl private Haushalte 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 241

Fahrleistung ges. Personenverkehr 2014: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 238

Fahrleistung ges. Personenverkehr 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 238

Treibhausgas-Emissionen 2014: BfE: Treibhausgasemissionen der Schweiz 1990-2014, Entwicklung der Emissionen von Treibhausgasen seit 1990 (April 2016) (9.19.2016)

Treibhausgas-Emissionen 2030&2050: BAFU: Treibhausgasemissionen der Schweiz- Emissionsperspektiven bis 2050, 2015 (PDF), S. 13-14

### **Tabelle 13: Politische und wirtschaftliche Rahmendaten des negativen Szenarios**

BIP pro Kopf 2014: BfS: BIP pro Einwohner,

[http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/04/02/01/key/bip\\_einw.html](http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/04/02/01/key/bip_einw.html)

(9.10.2016)

BIP pro Kopf 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050,

Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 54

Preis Elektrizität 2014: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel

2012, Prognos AG (PDF), S. 238

Preis Elektrizität 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050,

Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 238

Preis Fernwärme 2014: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Ba-

asel 2012, Prognos AG (PDF), S. 493

Preis Fernwärme 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis

2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 238

Preis Öl 2014: BAFU: Treibhausgasemissionen der Schweiz- Emissionsperspektiven

bis 2050, 2015 (PDF), S. 5

Preis Öl 2030&2050: BAFU: Treibhausgasemissionen der Schweiz- Emissionsper-

spektiven bis 2050, 2015 (PDF), S. 5

Preis Gas 2014: BAFU: Treibhausgasemissionen der Schweiz- Emissionsperspekti-

ven bis 2050, 2015 (PDF), S. 5

Preis Gas 2030&2050: BAFU: Treibhausgasemissionen der Schweiz- Emissionsper-

spektiven bis 2050, 2015 (PDF), S. 5

#### **Tabelle 14: Endenergieverbrauch des negativen Szenarios**

Endenergieverbrauch total 2014: BfE: Ex-Post-Analyse des schweizerischen Ener-

gieverbrauchs 2000 bis 2014, Bern 2015, Prognos AG (PDF), S. 20

Endenergieverbrauch total 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die

Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 105

Endenergieverbrauch erneuerbar 2014: BfE: Schweizerische Statistik der Erneuerba-

ren Energien, Liestal 2015 (PDF), S. 5

Endenergieverbrauch erneuerbar 2030&2050: BAFU: Treibhausgasemissionen der

Schweiz - Emissionsperspektiven bis 2050, 2015 (PDF), S. 5-6 & BfE: Die Energie-

perspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 105

Endenergieverbrauch n. erneuerbar 2014: BfE: Schweizerische Statistik der Erneuer-

baren Energien, Liestal 2015 (PDF), S. 5

Endenergieverbrauch n. erneuerbar 2030&2050: Endverbrauch aller Energieträger – Endverbrauch erneuerbarer Energieträger (Rechnung)

Davon fossile Energieträger 2014: BfE: Überblick über den Energieverbrauch der Schweiz im Jahr 2014, Bern 2015 (PDF), S. 2

Davon fossile Energieträger 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 300

Davon nukleare Energieträger 2014: BfE: Überblick über den Energieverbrauch der Schweiz im Jahr 2014, Bern 2015 (PDF), S. 5

Davon nukleare Energieträger 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 300

### **Tabelle 15: Endenergieverbrauch nach Sektoren im negativen Szenario**

Private Haushalte 2014: BfE: Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2014, Bern 2015, myclimate (PDF), S. 3

Private Haushalte 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 238

Industrie 2014: BfE: Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2014, Bern 2015, myclimate (PDF), S. 3

Industrie 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 238

Dienstleistungen 2014: BfE: Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2014, Bern 2015, myclimate (PDF), S. 3

Dienstleistungen 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 238

Verkehr 2014: BfE: Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2014, Bern 2015, myclimate (PDF), S. 3

Verkehr 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 238

Stat. Differenz 2014: BfE: Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2014, Bern 2015, myclimate (PDF), S. 3

Stat. Differenz 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 238

## **Tabelle 16: Elektrizitätsverbrauch des negativen Szenarios**

Elektrizitätsverbrauch total 2014: BfE: Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2014, Bern 2015, myclimate (PDF), S. 4

Elektrizitätsverbrauch total 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 341

Elektrizitätsverbrauch erneuerbar 2014: BfE: Schweizerische Statistik der Erneuerbaren Energien, Liestal 2015 (PDF), S. 6

Elektrizitätsverbrauch erneuerbar 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 341

Elektrizitätsverbrauch n. erneuerbar 2014: BfE: Schweizerische Statistik der Erneuerbaren Energien, Liestal 2015 (PDF), S. 6

Elektrizitätsverbrauch n. erneuerbar 2030&2050: BfE: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Basel 2012, Prognos AG (PDF), S. 341

## **Interview mit Hannes Weigt**

F. Gröflin: „Können Sie sich kurz vorstellen und erzählen, was Sie beruflich machen?“

H. Weigt: „Also ich bin seit 2011 hier in Basel Professor für Energieökonomie. Ich beschäftige mich hier hauptsächlich mit der Strommarktmodellierung, das heisst, ich erstelle mathematische Modelle des Strommarktes, um dann mögliche Zukunftsszenarien damit abzubilden.“

F. Gröflin: „Inwiefern ist es wichtig, dass die Schweizer Energieversorgung nachhaltig ist?“

H. Weigt: „Es ist letztlich deswegen wichtig, da Energie der Grundstoff unserer Gesellschaft ist, ohne Strom, ohne Brennstoffe, ohne Wärme würden wir praktisch nicht mehr so funktionieren wie wir es jetzt tun. Gleichzeitig ist Energiebereitstellung immer mit starken Eingriffen in die Umwelt verbunden, global betrachtet gibt es eine Menge gesellschaftliche Aspekte, wenn wir überlegen, wo unsere Kohle herkommt, ist es meistens aus Regionen, denen es weitaus nicht so gut geht wie uns, d.h. unser Energieverbrauch hat umwelttechnisch als auch menschlich-gesellschaftliche Auswirkungen, deren sollte man sich einfach bewusst sein. Besonders was Umweltsachen angeht ist natürlich ein Umstellen auf erneuerbar zielführen, weil es weniger klimaschädlich ist und damit auch die Endlichkeit der Ressource, die rausfällt als Problem, und was die gesellschaftlichen Komponenten angeht ist es nicht ganz ver-

kehrt, weil die Umweltschäden typischerweise nicht bei uns auftreten, sondern bei den Gesellschaften, wo gar nicht der Wohlstand vorhanden ist, dieses Problem mit technischen oder andern Möglichkeiten zu bewältigen. Also einerseits die Umweltschäden aber andererseits auch die gesellschaftlichen Verwerfungen, die wir teilweise entstehen lassen als auch verfestigen. Deswegen sollten wir uns Gedanken machen.“

F. Gröflin: „Welche nachhaltigen Energie sollten am stärksten gefördert werden?“

H. Weigt: „Ich als Ökonom denke natürlich so, dass man nicht diese eine Technologie fördern soll, sondern es geht darum, wie wir das, was wir haben und haben wollen, am kostengünstigsten und am effizientesten nutzen können. Das heisst in dem Kontext, was wollen wir überhaupt an Energie haben? Soll sie grün sein, soll sie CO<sub>2</sub>-neutral sein, soll sie immer verfügbar sein? Sie sehen, es sind verschiedene Ansprüche, die wir hier haben. Und dann soll sozusagen, sei es ein Markt, sei es irgendeine politische Vorgabe, dafür sorgen, im Idealfall die Technologie, die diesen Job am besten macht. Problem dabei ist die Zukunft, wir wissen nicht, was 2050 die sinnvollste Technologie ist. Wir können uns natürlich schon überlegen, was es wohl sein wird, um diese Technologien dann auszubauen. Zum Beispiel die klassischen Energieträger Wind und Sonne, müssen wir uns überlegen, ob die dann 2050 die cleversten und sinnvollsten sind, aber aus jetziger Sicht, vor allem auf den Stromsektor bezogen, geht das in die richtige Richtung. Aber letztlich als Ökonom würde ich davon Abstand nehmen, eine spezifische Technologie rauszupicken.“

F. Gröflin: „Woran liegt es, dass erneuerbare Energien für die meisten Leute nicht so interessant bzw. attraktiv sind?“

H. Weigt: „Das ist durchaus im Wandel und durchaus sehr unterschiedlich auch in den Alterskategorien. Über die Jahre hinweg konnte man da aber schon einen bestimmten Wandel beobachten. Anfangs war das ganze Thema sehr ideologisch geprägt. Mit der Förderung ist nun eine weitere Komponente hinzugekommen, eine ökologische. Als die Sache mit der Förderung aufkam, kam auch die Idee oder Vorstellung auf, dass die ganze Sache schon massiv gefördert wird und man selbst nicht mehr viel dazu beitragen kann. Die Einstellung wandelte sich; vorher herrschte das Bild von einer grünen, idealen Welt und diese wandelte sich hin zu einer klassischen, geldökonomischen Welt. Das ist eine mögliche Erklärung, wieso das Ganze als nicht mehr so relevant angesehen wird.“

F. Gröflin: „Inwiefern sind Lenkungsabgaben auf fossile Energieträger eine gute Idee, erneuerbare attraktiver zu machen?“

H. Weigt: „Grundsätzlich ist es ökonomisch betrachtet genau DIE Idee. Nochmals zurück zur Theorie, weswegen wir erneuerbare Energien nutzen sollten. Es entstehen immer sogenannte externe Kosten bei der Nutzung nicht erneuerbarer Energien, vor allem bei fossilen Energien. Der Klimawandel ist eine Komponente davon aber auch lokale Verschmutzungen. Und diese Kosten, die hier entstehen, werden oft gar nicht berücksichtigt. Der Preis von Benzin, Kohle usw. ist viel zu billig in Relation zu den Kosten, die sie verursachen. Wenn man so also die externen Kosten miteinberechnen würde, wären die fossilen Energien nicht mehr so attraktiv und erneuerbare Energien ständen preislich nicht im Nachteil. Unser System berechnet dies alles aber nicht ein. Fossile Energien und Kernkraft als auch das ganze Konventionelle sind eigentlich viel zu billig, das ist der Grund, wieso wir erneuerbare Energien eigentlich viel stärker fördern müssten. Natürlich sind sie in den letzten Jahren schon viel günstiger geworden. Und nun zurück zur Lenkungsabgabe, welche anstatt die erneuerbaren Energie direkt zu fördern, lassen sie diese so wie sie sind, versuchen aber die externen Kosten bei fossilen Energien reinzustecken. Wenn diese Preise, auch gerade für Benzin, steigen, steht jeder wieder vor der Entscheidung, was er für sich wählt. Deswegen hat die Lenkungsabgabe das gute Ziel, uns zum Umdenken anzuregen. Das grosse Problem ist aber, wie gross denn diese externen Kosten sind. Dadurch, dass es meist die Umwelt oder gesellschaftliche Aspekte sind, ist es schwer, die Höhe dieser Lenkungsabgaben zu schätzen. Es ist auch schwer abzuschätzen, was sich dann wirklich ändern wird und wie hoch die Abgabe sein muss, dass die Leute anfangen zu reagieren. Und das kann gut sein, dass dies politisch nicht umsetzbar ist.“

F. Gröflin: „Wie kann man den CO<sub>2</sub>-Verbrauch am effektivsten senken?“

H. Weigt: „Im Idealfall sollten wir uns auf die Innovationsfähigkeit von uns Menschen verlassen, und die wird gerne und schnell gefördert, wenn Menschen Geld verdienen können. Gerade bei der Stromproduktion, die erfolgt entweder durch fossile Energien, Kernenergie oder erneuerbare Energien, wobei ersteres immer CO<sub>2</sub> ausstösst. Man kann lediglich das ausgestossene CO<sub>2</sub> nehmen und irgendwie rausfiltern, das nennt sich „Carbon catching and storage“. Das sind technisch-chemische Prozesse, wobei aus der Abluft eines Kraftwerks das CO<sub>2</sub> rausgefiltert wird und das wird dann hochkonzentriert irgendwohin gesteckt, wo es im Idealfall nicht wieder hochkommt,

also Tiefenspeicherung. Man kann CO<sub>2</sub> auch in Erdgasspeicher stecken, denn die scheinen auch gut verdichtet zu sein. Aber per se kann man den fossilen Brennstoff nicht CO<sub>2</sub>-frei machen.“

F. Gröflin: „Wie kann man fossile Energieträger am besten reduzieren?“

H. Weigt: „Wir haben uns beim Transport an Autos gewöhnt, die auf Öl basieren, und wir haben uns bei der Stromversorgung an fossile und Kernkraftwerke gewöhnt und wir haben uns im Wärmemarkt letztlich auch an fossile gewöhnt. Solche Systeme zu verändern braucht Zeit. Im Stromsektor ist es in dem Sinne noch recht einfach, denn uns als Endkunden interessiert Strom und uns ist egal, ob dann da grüner Strom oder gelber oder roter Strom rauskommt. Ob er nun aus Windkraftwerken und Kernkraftwerken kommt, sehen sie dem nicht an. Das ist also eher ein technisches Problem. Wir müssen uns also weg von fossilen hin zu erneuerbaren Energien entwickeln, das braucht noch ein Bisschen Zeit aber die Entwicklung geht im Grossen und Ganzen genau in die Richtung. Und wir als Endkunden werden davon nichts merken. Im Verkehr hingegen ist es anders, denn die Verbrennungsmotoren basieren ja auf Diesel oder Benzin, nicht auf Öl. Wir können jetzt also versuchen, das mit gleichwertigen flüssigen Brennstoffen zu ersetzen, das aus biologischer Basis hergestellt wird. Um nun den ganzen europäischen Verkehr mit Bioprodukten zu versehen, dafür bräuchten wir Unmengen von Rapsfeldern. Da dies sehr schwer ist, ist die Alternative ein Wegkommen von diesem Ölbrennstoff. Aktuell ist das die Elektromobilität, in Jahren wird sich das noch verändern. Derzeit ist aber mit der Entwicklung, was Speicher angeht und auch was Elektromobilität angeht, eine neue Dynamik entstanden, weil neue Anbieter in den Markt gehen, der Klassiker Tesla natürlich. Früher waren elektrische Autos für die Kleinen also für in der Stadt, der Zweitwagen. Der Tesla ist genau das Gegenteil, also der Sportwagen für die Reichen. Daraus ergibt sich eine Infratraktursachlage. Wenn sie überlegen, wir ersetzen alle Autos hier in Basel durch elektrische, in der Nacht stehen dann alle da und müssen irgendwie aufgeladen werden, oder auch beim Arbeitsgeber braucht es Garagen mit Stromanschlüssen. In diesem Fall muss man in der Stadt eine Stromstruktur aufbauen, die diese Kurzstreckenautos abdecken, aber für die Langstrecken würden wir trotzdem noch etwas Anderes brauchen. Für Tesla hingegen müssten man Tankstellen für lange Strecken umbauen. Und wie sich das entwickeln wird ist derzeit noch unklar. Faktum ist, wenn wir zur Elektromobilität wechseln, wir das komplette Versorgungssystem umgestellt und das ist das eigentliche Problem. Autos mit Batterien zu versehen ist

technologisch gesehen nur ein kleines Problem, das Grundproblem ist genug Energie zu haben, um das zu machen, was wir mit Autos machen wollen, also von A nach B fahren, ohne sich andauernd Gedanken zu machen, wo man es wieder aufladen kann.“

F. Gröflin: „Nun nochmals zum Allgemeinen zurück, was können wir als Schweizer Bürgerinnen und Bürger zu einer erfolgreichen Energiewende beitragen und inwiefern müssen wir uns dabei einschränken?“

H. Weigt: „Also generell müssen wir uns nicht direkt einschränken, ein bewussteres Verhalten ist viel sinnvoller. Zum Beispiel im Winter will man es warm haben, aber was heisst denn jetzt warm? Heisst warm 23°C oder heisst das einfach, man soll sich wohl fühlen. Natürlich, je geringer die Temperatur, desto weniger Energie braucht man, aber es bringt auch nichts, wenn man bei 18°C friert. Man soll sich überlegen, ob man im Winter wirklich in Boxershorts und T-Shirt rumlaufen muss oder ob man auch Jeans und Pullover anziehen kann und dafür ein Grad runterdrehen, und man fühlt sich dabei genauso wohl. Beim Zähneputzen braucht man auch nicht den Wasserhahn laufen zu lassen. Man soll also bewusst handeln und sich fragen, wann brauche ich überhaupt Energie und brauche ich diese wirklich? Im Alltag, gerade im Migros oder Coop, soll man sich überlegen, wo kommen eigentlich die Produkte her, wie viel Energie und was für Energie wird dafür verbraucht. Da fehlt es derzeit noch stark an Informationen. Wie man aber die Leute zum Überlegen bringt, das ist die Schwierigkeit. Welche Information müsste man uns zukommen lassen, dass wir uns bewusster entscheiden? Zum Beispiel Energielevels wie bei Kühlschränken oder auch in Supermärkten eine saubere Kommunikation, wie viel Energie in einem Produkt steckt, sind schon mal gute Ansätze. Allerdings tendieren die Leute immer dazu, das günstigere Produkt zu nehmen. Wir Ökonomen sagen immer, saubere Preise, dann haben wir das Problem nicht. Dabei werden bei den Preisen die verbrauchte Energie mit eingerechnet. Aber die Schäden der Umwelt als auch in der Gesellschaft sind schwer zu messen, da sie keinen konkreten Preis haben. Und ohne Preise fehlt dann die Information.“

F. Gröflin: „Ist es denn Ihrer Meinung nach möglich, komplett auf erneuerbar umzusteigen?“

H. Weigt: „Im Stromsektor auf jeden Fall! Im gesamten Energiesystem ist es schwieriger aufgrund des Transportsektors. Hier ist es eher ein Prozess und die Schweiz wird nicht als erstes Land komplett auf E-Mobility umsteigen. Aber wenn andere



Länder vorangehen, werden wir als kleineres Land folgen können. Somit ist es nicht unmöglich, aber die künftigen Entwicklungen sind in diesem Bereich sehr schwer einzuschätzen.“