

Sachdokumentation:

Signatur: DS 2148

Permalink: www.sachdokumentation.ch/bestand/ds/2148



Nutzungsbestimmungen

Dieses elektronische Dokument wird vom Schweizerischen Sozialarchiv zur Verfügung gestellt. Es kann in der angebotenen Form für den Eigengebrauch reproduziert und genutzt werden (private Verwendung, inkl. Lehre und Forschung). Für das Einhalten der urheberrechtlichen Bestimmungen ist der/die Nutzer/in verantwortlich. Jede Verwendung muss mit einem Quellennachweis versehen sein.

Zitierweise für graue Literatur

Elektronische Broschüren und Flugschriften (DS) aus den Dossiers der Sachdokumentation des Sozialarchivs werden gemäss den üblichen Zitierrichtlinien für wissenschaftliche Literatur wenn möglich einzeln zitiert. Es ist jedoch sinnvoll, die verwendeten thematischen Dossiers ebenfalls zu zitieren. Anzugeben sind demnach die Signatur des einzelnen Dokuments sowie das zugehörige Dossier.

Zürich, 17. Juli 2019

«STROMMIX 2018»

UMWELTBELASTUNG AUS DER STROMPRODUKTION DER VIER GRÖSSTEN SCHWEIZER STROMVERSORGER 2018

Kurzstudie | Simon Banholzer, Tonja Iten



Schweizerische
Energie-Stiftung
Fondation Suisse
de l'Énergie

Sihlquai 67
8005 Zürich
Tel. 044 275 21 21

info@energiestiftung.ch
PC-Konto 80-3230-3



Abstract

In der vorliegenden Kurzstudie analysiert die Schweizerische Energie-Stiftung SES den Strommix 2018 der vier grössten Schweizer Energieversorger Axpo, Alpiq, BKW und Repower. Untersucht wurden CO₂-Emissionen, Umweltbelastung sowie die Menge an radioaktivem Abfall aller Kraftwerke im In- und Ausland. Insgesamt fallen über 66.4% der Stromproduktion in fossilen oder nuklearen Kraftwerken an. Der Anteil an CO₂-emittierender Stromproduktion ist im letzten Jahr leicht zurückgegangen, im Gegensatz zu den Vorjahren in welchen insbesondere die Erdgasstromproduktion stark anstieg. Der Anteil der Stromproduktion durch neue erneuerbare Energien nahm leicht zu, verbleibt jedoch auf sehr tiefem Niveau. Im Vergleich zum durchschnittlichen Schweizer Strommix weisen die vier grössten Schweizer Stromversorger einen überdurchschnittlichen Anteil an fossilen und nuklearen Kraftwerken mit entsprechend höherer Umweltbelastung auf.

Inhalt

| | |
|---|-----------|
| 1. Einleitung | 4 |
| 2. Methodik | 5 |
| 2.1 Radioaktive Abfälle | 5 |
| 2.2 CO ₂ -Emissionen | 6 |
| 2.3 Umweltbelastungspunkte | 7 |
| 2.4 CO ₂ -Äquivalent vs. UBP am Beispiel Photovoltaik..... | 8 |
| 3. Resultate | 9 |
| 3.1 Produktionsmix | 9 |
| 3.2 Installierte Leistungen..... | 12 |
| 3.3 Verteilung in In- und Ausland | 13 |
| 3.4 Erzeugte Emissionen in CO ₂ -Äquivalenten | 14 |
| 3.6 Erzeugte Umweltbelastungspunkte | 15 |
| 3.7 Entwicklung über die Jahre | 16 |
| 4. Diskussion | 18 |
| 4.1 Interpretation der Resultate | 18 |
| 4.2. Ausblick | 18 |
| 5. Quellen | 21 |

1. Einleitung

Axpo, Alpiq, BKW und Repower sind die vier grössten Stromproduzenten der Schweiz. Insgesamt wurden 2018 in ihren Kraftwerken 65'212 Gigawattstunden Strom erzeugt. In der vorliegenden Kurzstudie hat die Schweizerische Energie-Stiftung SES deren Stromproduktion nach Energiequelle analysiert und die resultierende Umweltbelastung (im In- und Ausland) berechnet. Die Ergebnisse zeigen auf, wie viel radioaktiver Abfall und welche Menge Kohlenstoffdioxid (CO₂) pro produzierte Kilowattstunde Strom durchschnittlich bei jedem Stromproduzenten entstehen. Zudem wurde die Anzahl Umweltbelastungspunkte (UBP) pro produzierte Kilowattstunde berechnet. Die Berechnungsmethodik der UBP schliesst diverse umweltrelevante Faktoren mit ein.

Die vorliegende Kurzstudie erläutert das Vorgehen, gibt eine Übersicht der Resultate und Interpretation und listet die verwendeten Quellen.

2. Methodik

Gegenstand der Untersuchung ist die Stromproduktion die vier grössten Schweizer Stromproduzenten Axpo, Alpiq, BKW und Repower. Die Daten sind in erster Linie den aktuellen Geschäftsberichten und Faktenblättern der jeweiligen Stromproduzenten entnommen. Bei fehlenden oder unklaren Angaben wurde Rücksprache mit den Unternehmen getroffen.

Es wurde jeweils die gesamte Stromproduktion 2018, das heisst sowohl die Kraftwerke im In- wie auch im Ausland, berücksichtigt.

2.1 Radioaktive Abfälle

Für jede Kilowattstunde produzierter Atomstrom fällt eine gewisse Menge radioaktiver Abfall an. Dieser hat unterschiedliche Bestandteile. Einerseits fallen hochradioaktive Abfälle (HAA) an durch die abgebrannten Brennstäbe. Diese besitzen zwar mengenmässig geringe Ausmasse, sind jedoch äusserst schädlich und müssen bis zu 1'000'000 Jahre von der Umwelt ferngehalten werden, um diese vor der ionisierenden Strahlung zu schützen. Zweitens entstehen schwach- und mittelradioaktive Abfälle (SMA), beispielsweise durch das kontaminierte Material der Atomkraftwerke. Deren Strahlung ist geringer und weniger langanhaltend, jedoch fallen grosse Mengen an.

Tabelle 1 zeigt die Basis für unsere Berechnungen, angegeben in Kubikmillimeter radioaktiver Abfall pro Kilowattstunde.

Tabelle 1: *Verwendete Kennzahlen für die Berechnung der Menge radioaktiver Abfälle (Menge in mm³ pro produzierte Kilowattstunde ab Kraftwerk).*

| Radioaktive Abfälle in mm ³ pro kWh | | |
|--|-----|-------|
| HAA | SMA | Total |
| 8.4 | 47 | 55.4 |

Daten: Die obigen Kennzahlen beruhen auf Bauer C. et al. (2012) und KBOB, eco-bau and IPB (2014).

2.2 CO₂-Emissionen

Bei der fossilen Stromerzeugung mittels Kohle, Erdöl oder Erdgas werden grosse Mengen an Kohlenstoffdioxid (CO₂) freigesetzt. Dies trägt beträchtlich zur Erderwärmung bei. Zusätzliche emittierte Treibhausgase wie Methan oder Lachgas verstärken den Treibhauseffekt. Für die Vergleichbarkeit wird die gesamthafte Wirkung der emittierten, klimaschädigenden Treibhausgase in sogenannten CO₂-Äquivalenten ausgedrückt. Dadurch kann die Klimaauswirkung der verschiedenen Stromproduktionsarten verglichen werden. Tabelle 2 stellt die Werte für die Berechnung der CO₂-Äquivalente des Strommixes der Stromproduzenten dar.

Tabelle 2: *Verwendete Kennzahlen für die Berechnung der CO₂-Äquivalente pro produzierte Kilowattstunde.*

| | kg CO ₂ -Äquivalent pro MJ | g CO ₂ -Äquivalent pro kWh |
|--------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Braunkohle | 0.377 | 1'396.30 |
| Steinkohle | 0.344 | 1'274.07 |
| Erdöl ¹ | 0.281 | 1'040.74 |
| Erdgas | 0.129 | 477.78 |
| AKW ² | 0.006 | 22.22 |
| Wasserkraft ³ | 0.003 | 11.11 |
| Biomasse ⁴ | 0.065 | 240.74 |
| Photovoltaik | 0.027 | 100.00 |
| Wind | 0.007 | 25.93 |
| Geothermie ¹ | 0.009 | 33.33 |

Daten: *Stolz und Frischknecht (2017).*

¹ Keiner der Produzenten weist Erdöl- oder Geothermiekraftwerke aus. Diese Werte werden der Vollständigkeit halber und zwecks besserer Vergleichbarkeit aufgeführt.

² Für die CO₂-Bilanz von Atomkraftwerken existiert in der Literatur eine grosse Bandbreite an Werten (der fünfte IPCC-Report (2014) nennt eine Bandbreite von 3.7 bis 110 g CO₂-Äquivalent pro kWh). Aus Konsistenzgründen wurde auf den Wert von Stolz und Frischknecht (2017) abgestellt.

³ Für die Kleinwasserkraft wurden mit Werten der Grosswasserkraft gerechnet, da für Kleinwasserkraft die benötigten Daten nicht existieren und die Produzenten diese nicht immer deutlich ausweisen.

⁴ Es wurde der Mittelwert zwischen Biogas, Biogas aus der Landwirtschaft und Biogas aus Holz angenommen. Aus den verfügbaren Daten waren die Anteile des entsprechenden Typs Kraftwerk nicht ersichtlich.

2.3 Umweltbelastungspunkte

Die Methode der ökologischen Knappheit erlaubt die Bewertung von Umweltbelastungen über den gesamten Lebenszyklus. Sie gewichtet in einer Ökobilanz verschiedene Umweltwirkungen, ausgedrückt in so genannten Umweltbelastungspunkten (UBP). Die UBP berücksichtigen somit die gesamte Umweltbelastung der Stromproduktion, von der Gewinnung der Rohstoffe bis zur Entsorgung der Abfälle, inklusive CO₂-Emissionen, weitere Abgas-Emissionen, radioaktive Abfälle, Wasser- und Landverbrauch und weitere Belastungen.

Die verwendete Einheit ist UBP pro Kilowattstunde. Die Werte in Tabelle 3 dienen als Berechnungsgrundlage für die aus dem Strommix resultierenden UBP der Stromproduzenten.⁵

Tabelle 3: Verwendete Kennzahlen für die Berechnung der Umweltbelastungspunkte pro produzierte Kilowattstunde.

| | UBP pro MJ | UBP pro kWh |
|--------------------------|------------|-------------|
| Braunkohle | 220.2 | 815.56 |
| Steinkohle | 213.4 | 790.37 |
| Erdöl ⁶ | 302.5 | 1120.37 |
| Erdgas | 85.6 | 317.04 |
| AKW ⁷ | 125.8 | 465.93 |
| Wasserkraft ⁸ | 12.2 | 45.19 |
| Biomasse ⁹ | 83.2 | 308.02 |
| Photovoltaik | 48.4 | 179.26 |
| Wind | 20.5 | 75.93 |
| Geothermie ¹ | 28.6 | 105.93 |

Daten: Stolz und Frischknecht (2017).

⁵ Weitere Ausführungen zu den UBP sind auf folgender Webseite des Bundesamtes für Umwelt zu finden: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wirtschaft-konsum/fachinformationen/methodische-grundlagen-von-oekobilanzen/methode-der-oekologischen-knappheit.html>

⁶ Keiner der Produzenten weist Erdöl- oder Geothermiekraftwerke aus. Diese Werte werden der Vollständigkeit halber und zwecks besserer Vergleichbarkeit aufgeführt.

⁷ Für die CO₂-Bilanz von Atomkraftwerken existiert in der Literatur eine grosse Bandbreite an Werten (der fünfte IPCC-Report (2014) nennt eine Bandbreite von 3.7 bis 110 g CO₂-Äquivalent pro kWh). Aus Konsistenzgründen wurde auf den Wert von Stolz und Frischknecht (2017) abgestellt.

⁸ Für die Kleinwasserkraft wurden mit Werten der Grosswasserkraft gerechnet, da für Kleinwasserkraft die benötigten Daten nicht existieren und die Produzenten diese nicht immer deutlich ausweisen.

⁹ Es wurde der Mittelwert zwischen Biogas, Biogas aus der Landwirtschaft und Biogas aus Holz angenommen. Aus den verfügbaren Daten waren die Anteile des entsprechenden Typs Kraftwerk nicht ersichtlich.

2.4 CO₂-Äquivalent vs. UBP am Beispiel Photovoltaik

Die ganzheitliche Betrachtung der Umweltbelastung mittels der Methodik der Umweltbelastungspunkte gibt ein aussagekräftigeres Bild ab als ein ausschliesslicher Fokus auf die Treibhausgasemissionen. So zeigt sich beispielsweise, dass die Photovoltaik bei Betrachtung der Emissionen in CO₂-Äquivalenten nicht gut abschneidet und unter den untersuchten Stromerzeugungstechnologien mit 100 g CO₂-Äquivalent pro kWh erst an fünfter Stelle auftritt. Im Vergleich dazu schneidet die Atomstromproduktion mit 22.22 g CO₂-Äquivalent pro kWh besser ab als die Photovoltaik. Eine Betrachtung mittels Umweltbelastungspunkten relativiert diesen Befund. Dabei wird wiederum der gesamte Lebenszyklus betrachtet, das heisst die Herstellung von Polysilizium, Siliziumwafern und Anlagen sowie die Installation und das vollständige Recycling der Photovoltaikanlage. Zusätzlich zu den Treibhausgasemissionen werden unter anderem jedoch auch der anfallende radioaktive Abfall, Feinstaub, Landnutzung, kumulativer Energiebedarf (erneuerbar und nicht-erneuerbar), abiotische Ressourcenverknappung oder ionisierende Strahlung berücksichtigt. So weist Atomstrom eine Umweltbelastung von 465.93 UBP pro kWh auf, während diese bei der Photovoltaik bei 179.26 liegt.

Wichtig bei umweltbezogenen Überlegungen ist zudem, in welche Richtung sich eine Technologie zukünftig bewegt. Die CO₂-Belastung bei Photovoltaik-Modulen ist vornehmlich deswegen ausgeprägt, weil der zur Herzstellung benutzte Strommix grösstenteils fossil ist¹⁰. Je sauberer jedoch der Strommix wird, desto geringer werden die Treibhausgas-Emissionen von Photovoltaikstrom. Zweitens nimmt der Wirkungsgrad von Photovoltaik-Modulen ständig zu. Daher ist bei der Photovoltaik mit sinkenden Treibhausgasemissionen und einer steigenden Umweltverträglichkeit zu rechnen. Frischknecht et al. (2015) schätzen, dass die Treibhausgasemissionen von Photovoltaikstrom bis in den Jahren 2030 bis 2050 um 69% abnehmen wird.

¹⁰ Die in Europa installierten Silizium-Module werden zu knapp 79.6% in China produziert, das einen stark fossilen Strommix aufweist mit entsprechend hoher Treibhausgasintensität. 14.5% der Module werden in Europa hergestellt, die restlichen 5.9% im asiatisch-pazifischen Raum. (Stolz und Frischknecht, 2017).

3. Resultate

Die nachfolgende Tabelle 4 zeigt eine Gesamtübersicht der Resultate an. Die folgenden Kapitel 3.1 bis 3.7 führen durch die Resultate im Einzelnen.

Tabelle 4: Gesamtübersicht Produktion und Anteile der verschiedenen Produktionsarten im Jahr 2018 aller untersuchten Stromversorger

| | Axpo | | Alpiq | | BKW | | Repower | | Total | |
|------------------------|------------------------|-------|------------------------|-------|------------------------|-------|------------------------|-------|------------------------|-------|
| | Produktion 2018 in GWh | % | Produktion 2018 in GWh | % | Produktion 2018 in GWh | % | Produktion 2018 in GWh | % | Produktion 2018 in GWh | % |
| Braunkohle | | 0.0 | 1977.0 | 13.3 | | | | | 1977.0 | 3.0 |
| Steinkohle | | 0.0 | | 0.0 | 963.1 | 8.2 | | | 963.1 | 1.5 |
| Erdgas | 6499.0 | 18.2 | 3125.0 | 21.1 | 853.0 | 7.3 | 884.4 | 30.0 | 11361.4 | 17.4 |
| AKW | 18632.0 | 52.1 | 4972.0 | 33.5 | 5073.2 | 43.4 | 353.8 | 12.0 | 29031.0 | 44.5 |
| Wasserkraft | 9307.0 | 26.0 | 4230.0 | 28.5 | 3498.7 | 29.9 | 1591.9 | 54.0 | 18627.6 | 28.6 |
| Kleinwasserkraft | | 0.0 | 64.6 | 0.4 | 327.3 | 2.8 | | | 391.9 | 0.6 |
| Biomasse | 116.3 | 0.3 | | 0.0 | 19.0 | 0.2 | | | 135.3 | 0.2 |
| Photovoltaik | | 0.0 | 16.1 | 0.1 | 12.1 | 0.1 | 0.3 | 0.0 | 28.5 | 0.0 |
| Wind | 1175.7 | 3.3 | 457.3 | 3.1 | 945.5 | 8.1 | 117.9 | 4.0 | 2'696.4 | 4.1 |
| Total neue Erneuerbare | 1'292.0 | 3.6 | 538.0 | 3.6 | 1'303.9 | 11.2 | 118.2 | 4.0 | 3'252.1 | 5.0 |
| Total Erneuerbare | 10'599.0 | 29.7 | 4'768.0 | 32.2 | 4'802.6 | 41.1 | 1'710.1 | 58.0 | 21'879.7 | 33.6 |
| Dreckiger Strom | 25'131.0 | 70.3 | 10'074.0 | 67.9 | 6'889.3 | 58.9 | 1'238.2 | 42.0 | 43'332.5 | 66.4 |
| Total Stromproduktion | 35'730.0 | 100.0 | 14'842.0 | 100.0 | 11'691.9 | 100.0 | 2'948.3 | 100.0 | 65'212.2 | 100.0 |

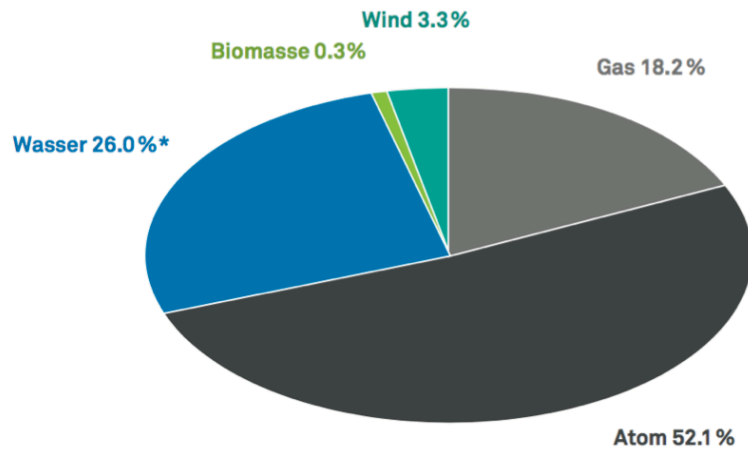
| | | | | |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|
| CO2-Äquivalent g/kWh | 103 | 298 | 156 | 153 |
| UBP/kWh | 316 | 347 | 312 | 178 |
| rad. Abfälle in mm3/kWh | 29 | 19 | 24 | 7 |

Daten: Eigene Berechnungen.

3.1 Produktionsmix

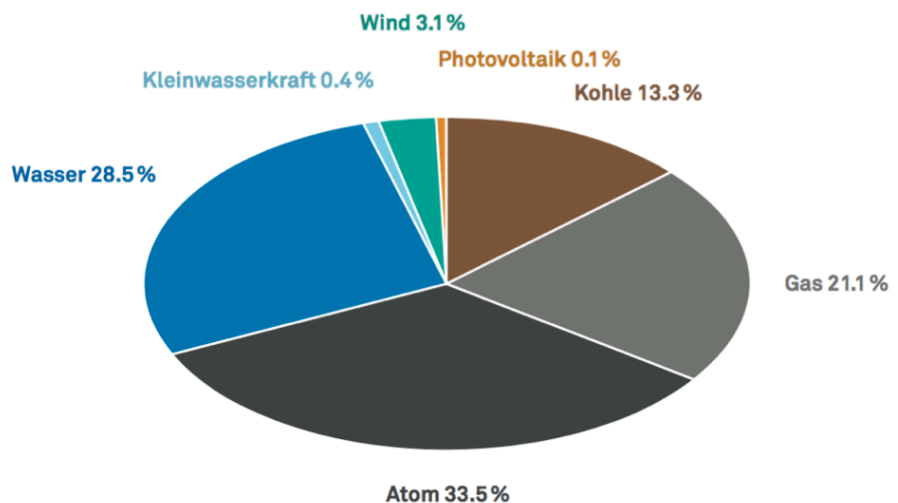
Axpo, Alpiq und BKW produzieren ihren Strom nach wie vor vorwiegend mit nuklearen und fossilen Kraftwerken. Die Wasserkraft sowie die neuen erneuerbaren Energien (Kleinwasserkraft, Biomasse, Photovoltaik und Wind) spielen eine untergeordnete Rolle und erreichen einen durchschnittlichen Anteil von einem Drittel. Repower schneidet im Vergleich mit einem knapp 60% erneuerbarem Strom deutlich besser ab. Die nachfolgenden Abbildungen 1 bis 4 zeigen den Stromproduktionsmix der vier Stromversorger.

Abbildung 1: Zusammensetzung der **Axpo**-Stromproduktion 2018 im In- und Ausland nach Stromerzeugungstechnologie. (Rundungsbedingt sind Abweichungen der Nachkommastellen im Vergleich zu den absoluten Produktionsanteilen möglich.)
 *Kleinwasserkraftwerke werden der Wasserkraft zugerechnet.



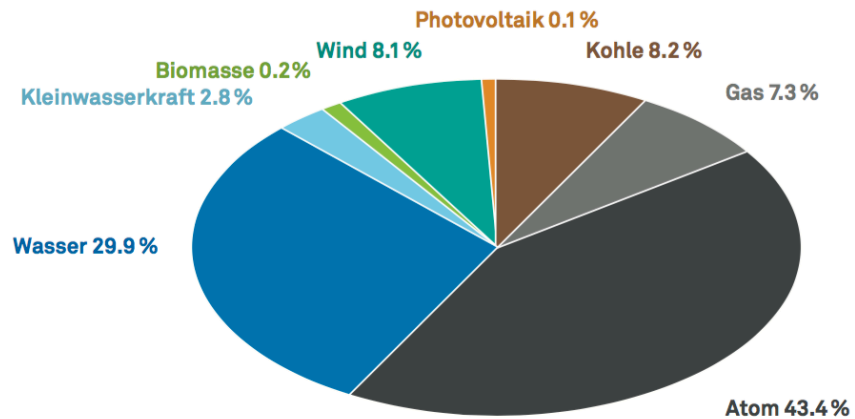
Anteil neue erneuerbare Energien: 3.6% (2017: 3.3%)

Abbildung 2: Zusammensetzung der **Alpiq**-Stromproduktion 2018 im In- und Ausland nach Stromerzeugungstechnologie.



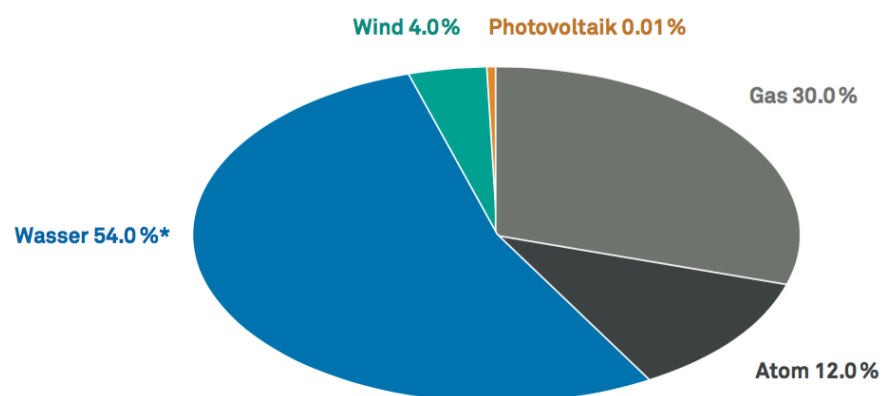
Anteil neue erneuerbare Energien: 3.6% (2017: 3.4%)

Abbildung 3: Zusammensetzung der **BKW**-Stromproduktion 2018 im In- und Ausland nach Stromerzeugungstechnologie. (Rundungsbedingt sind Abweichungen der Nachkommastellen im Vergleich zu den absoluten Produktionsanteilen möglich.)



Anteil neue erneuerbare Energien: 11.2% (2017:9.3%)

Abbildung 4: Zusammensetzung der **Repower**-Stromproduktion 2018 im In- und Ausland nach Stromerzeugungstechnologie. *Kleinwasserkraftwerke werden der Wasserkraft zugerechnet.

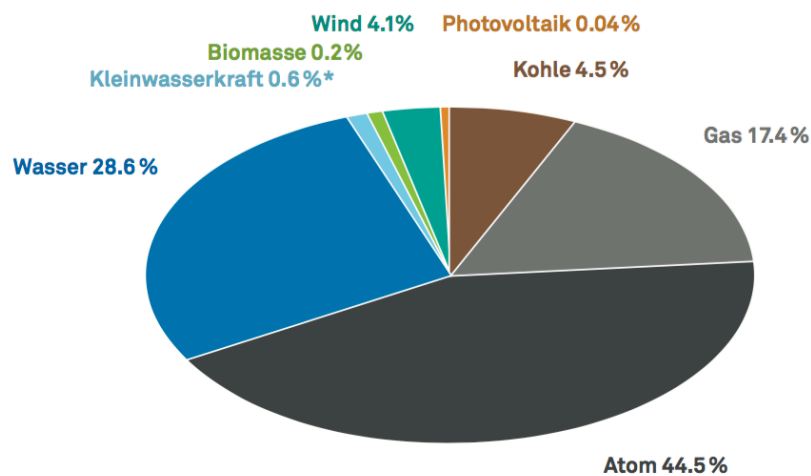


Anteil neue erneuerbare Energien: 4.01% (2017:3.0%)

Der Produktionsmix der vier grossen Schweizer Stromversorger ist im Schnitt somit deutlich schmutziger als der Landesmix. Dieser besteht zu 55.4% aus Wasserkraft, der Anteil an Atomkraft und konventionell-thermischer Kraftwerke liegt bei 36.1% respektive 2.8% (2018).

Im vergangenen Jahr haben die vier Stromversorger etwas weniger als die Hälfte (44.5 %) oder 29'031 GWh ihres Stroms mit Atomkraft produziert. An zweiter Stelle steht die Stromproduktion aus Wasserkraft (28.6 %), es folgt Strom aus ausländischen Gas- oder Kohlekraftwerke mit (21.9%). Trotz konstantem Zuwachs spielen die neuen erneuerbaren Energien bei den Stromversorgern mit 5% nach wie vor bloss eine marginale Rolle. Der grösste Anteil hiervon kommt der Windkraft zu, welche einen Anteil von 4.1 % oder 2'696 GWh produziert. Zum Vergleich: Dies entspricht ca. der gleichen Menge Strom die Alpiq und BKW aus Kohlekraftwerken erzeugen (1'940 GWh) Die nachfolgende **Abbildung 5** zeigt den durchschnittlichen Produktionsmix sämtlicher vier Stromversorger.

Abbildung 5: Durchschnittliche Zusammensetzung der Stromproduktion der vier grössten Schweizer Stromproduzenten 2018 im In- und Ausland nach Stromerzeugungstechnologie *Axpo und Repower Kleinwasserkraftwerke werden der Wasserkraft zugerechnet.



Anteil neue erneuerbare Energien: 4.94% (2017: 4.45%)

3.2 Installierte Leistungen

Zwar beruht der Grossteil der Stromproduktion auf fossilen und nuklearen Energieträgern. Ein Blick auf die ausgebauten Kapazitäten zeigt jedoch, dass die Erneuerbaren zulegen. Der Ausbau der Kapazitätsleistung geschah vornehmlich im Bereich der neuen erneuerbaren Energien im Ausland. Die Axpo erhöhte ihre Leistung vornehmlich durch Windparks in Frankreich, bei der BKW ging der erste norwegische Windparkstandort ans Netz. Die Alpiq investierte in Windkraft- und Photovoltaikanlagen in Italien. Repower vergrösserte seine Kapazitäten im Bereich neue Erneuerbare gar um 11% mit einem Joint Venture in Italien.

Die **Axpo** erhöhte ihre installierte Leistung im Bereich neue erneuerbare Energien im Ausland auch im letzten Jahr, namentlich auf 490 MW. Das bedeutet einen Zuwachs seit 2015 um knapp 70%. Der Zuwachs im letzten Jahr ist hauptsächlich auf die Fertigstellung von Windparks in Frankreich durch das Tochterunternehmen Volkswind zurückzuführen. Der Ausbau von inländischen neuen Erneuerbaren im Inland jedoch stagniert seit 2014 auf dem Niveau von 30 MW. Der grösste Teil der installierten Kapazität liegt in der inländischen Wasserkraft mit 4300 MW. Die zweitgrösste installierte Kapazität ist auf Atomkraft im In- und Ausland zurückzuführen mit 1500 MW respektive 1200 MW, das bedeutet total 2700 MW. Schwankungen zum Vorjahr sind auf veränderte Bezugsrechte sowie das Auslaufen eines Langfristvertrags zurückzuführen. Drittens verfügt die Axpo über ausländische Gas-Kombikraftwerke.

Bei der **Alpiq** entfallen die Hauptanteile der installierten Leistung auf inländische Wasserkraft (2701 MW) und ausländische Gas- und Kohlekraftwerke (2333 MW). Dazu kommen Anteile an den AKW Gösigen und Leibstadt (insgesamt 738 MW) sowie Kapazitäten im Bereich neue Erneuerbare (Kleinwasserkraft, Wind und Photovoltaik) von 300 MW. Das Portfolio zeigt einen Anstieg der Gaskraft, da das Gas-Kombikraftwerk in Vercelli (Italien) nach mehrjähriger Ausserbetriebnahme wieder ans Netz ging. In Italien erfolgte zudem der Erwerb von Windkraft- und Photovoltaik-Anlagen, in der Schweiz wurde das Kleinwasserkraftwerk Peist in Betrieb genommen. Ansonsten bleibt das Portfolio identisch zum Vorjahr.

Bei der **BKW** verfügt per Ende 2018 über knapp 1700 MW installierte Leistung in der Wasserkraft sowie gut 700 MW installierte Leistung in der Atomkraft. Hinzu kommen knapp 500 MW Leistung aus fossilen Gas- und Steinkohlekraftwerke (in Italien respektive Deutschland) und nahe 500 MW aus neuen erneuerbaren Energien. Die grösste Änderung im Vergleich zum Vorjahr stellt der Zuwachs der Windenergie dar. Hierzu haben insbesondere die neuen Windparks in Frankreich beigetragen. Die Ende 2017 eröffneten Windkraftwerke Saint-Germier, Saint-Julien-du-Terroux und Curscades-Villedaigne-Ornaisons haben 2018 erstmals das ganze Jahr Strom produziert. Zudem ging der norwegische Windpark Marker ans Netz, weitere Windparkstandorte in Norwegen befinden sich im Bau. Auch die installierte Leistung von inländischen Photovoltaik- und Kleinwasserkraftwerken nahm leicht zu.

Bei **Repower** stammen mehr als die Hälfte der installierten Leistung aus der Wasserkraft (446 MW). Danach stellt das Gaskraftwerk Teverola mit 244 MW den grössten Anteil am Kraftwerkspark dar. Die restlichen Kapazitäten verteilen sich auf Windkraftwerke (in Italien und Deutschland, 84 MW), Bezugsrechte aus AKW (48 MW) sowie die Photovoltaik (8.24 MW). Unterschied zum Vorjahr sind vornehmlich auf den Ausbau der erneuerbaren Energien im Ausland zurückzuführen. Namentlich handelt es sich um die Gründung des Joint Ventures Repower Renewable in Italien, in dessen Folge die installierte Leistung bei der Windkraft um knapp 40% stieg. Bei der Photovoltaik stieg die Kapazität gar um über 3000% (von 0.23 auf 8.24 MW).

3.3 Verteilung in In- und Ausland

Bei der **Axpo** befinden sich alle Wasserkraftwerke in der Schweiz. Bei den Atomkraftwerken ist knapp die Hälfte des Portfolios auf installierte Leistung im Inland zurückzuführen, während die ausländischen Produktionsanteile Langfrist-

bezugsrechte in Frankreich betreffen. Strom aus Gaskraftwerken wird ausschliesslich in Italien produziert, wo die Axpo Gas-Kombikraftwerke hält. Der Kapazitätsausbau an neuen erneuerbaren Energien geschieht hauptsächlich durch Windkraft im Ausland (Deutschland, Frankreich, Italien und Spanien).

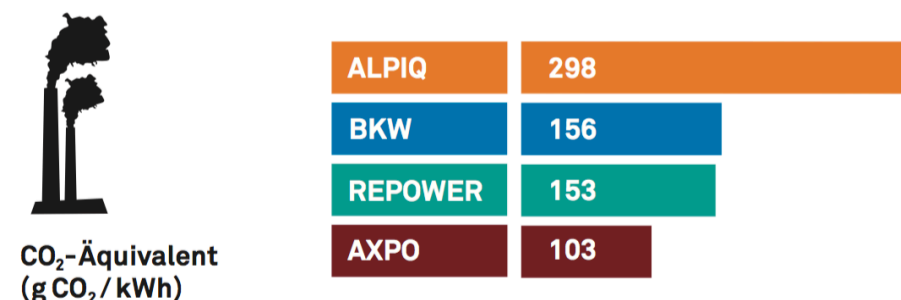
Bei der **Alpiq** zeigt sich ein sehr ähnliches Bild. Strom aus fossilen Energien wird aber nicht nur in Italien, sondern zusätzlich in Spanien, Tschechien und Ungarn produziert. Zudem verfügt Alpiq über Windkraftanlagen in Bulgarien, der Schweiz, Italien und Frankreich.

Die Kraftwerkparcs von **BKW** und **Repower** weisen eine ähnliche Charakteristik auf wie diejenige der Axpo: Wasserkraftwerke im Inland (BKW: ebenfalls Kleinwasserkraft in Italien), Windkraftwerke in Italien und Deutschland (im Falle BKW ebenso in Frankreich und Norwegen), Atomkraftwerke im Inland und Frankreich, Gaskraftwerke in Italien sowie geringe Anteile Photovoltaikkraftwerke in der Schweiz. Repower besitzt zudem einen beträchtlichen Anteil an Photovoltaikanlagen in Italien. Die BKW verfügt ferner über inländische Biomassekraftwerke sowie ein Steinkohlekraftwerk in Deutschland.

3.4 Erzeugte Emissionen in CO₂-Äquivalenten

Sämtliche vier Stromerzeuger verzeichneten einen Rückgang von Treibhausgasen, gemessen in CO₂-Äquivalenten, im Verhältnis zur produzierten Strommenge. An der Spitze steht wiederum **Alpiq**, welche durchschnittlich 298 g CO₂-Äquivalente pro Kilowattstunde produziert. Hauptverantwortlich sind deren Braunkohlekraftwerke in Tschechien, welches knapp 20% des gesamten Stroms produziert. Da die anteilmässige Produktion von Erdgas reduziert wurde und im Verhältnis mehr Strom aus AKW, Wasserkraft und neuen Erneuerbaren produziert wurde, wurden die Emissionen im Vergleich zum Vorjahr jedoch leicht reduziert (2017: 333 g CO₂-Äquivalente pro Kilowattstunde). Die **BKW** rutscht vor auf den zweiten Platz mit 156 g CO₂-Äquivalente pro Kilowattstunde. Es folgt **Repower** mit 153 g CO₂-Äquivalente pro Kilowattstunde. Repower hat seine Emissionswerte im Vergleich zum Vorjahr stark reduziert (2017: 229 g CO₂-Äquivalente pro Kilowattstunde), was auf die ausfallbedingt stark gesunkene Stromproduktion aus Erdgas zurückzuführen ist. **Axpo** weist bezüglich der durchschnittlichen Treibhausgas-Emissionen mit 103 g CO₂-Äquivalente pro Kilowattstunde das beste Ergebnis aus. Mengenmässig produziert die Axpo jedoch mit 6499 GWh mit Abstand am meisten Strom aus fossilen Kraftwerken. Abbildung 6 zeigt die Resultate im Überblick.

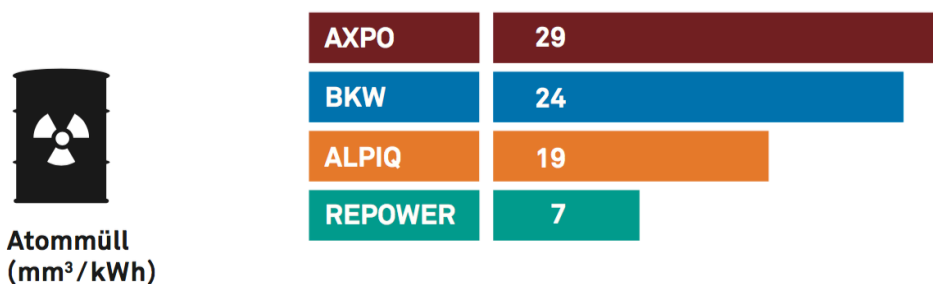
Abbildung 6: Erzeugte CO₂-Äquivalente der vier grössten Schweizer Stromproduzenten.



3.5 Erzeugte radioaktive Abfälle

Die **Axpo** als grösste Atomstromproduzentin hat 2018 pro Kilowattstunde 29 Kubikmillimeter radioaktiven Abfall produziert und liegt somit minim über dem Wert vom Vorjahr (2017: 28 mm³ Atommüll pro Kilowattstunde). Der Anstieg ist auf die Wiederinbetriebnahme des Reaktors Beznau I zurückzuführen, ebenso wie AKW Leibstadt einen signifikanten Produktionszuwachs aus. So lag die Atomstromproduktion der Axpo trotz der reduzierten installierten Leistung höher als im Vorjahr. An zweiter Stelle rangiert die BKW, welche durchschnittlich mit 23 Kubikmillimeter pro Kilowattstunde ebenfalls für relativ viel radioaktiven Abfall verantwortlich ist (2017: 24 mm³ Atommüll pro Kilowattstunde). Es folgen die Alpiq mit durchschnittlich 19 Kubikmillimeter pro Kilowattstunde und schliesslich Repower (7 Kubikmillimeter pro Kilowattstunde), die nur wenige AKW-Bezugsrechte besitzt. Die Rangfolge präsentiert sich somit gleich wie im Vorjahr, wobei bei sämtlichen vier Versorgern ein leichter Anstieg an produziertem Atommüll pro Kilowattstunde zu sehen ist.

Abbildung 7: Erzeugte radioaktive Abfälle der vier grössten Schweiz Stromproduzenten.



3.6 Erzeugte Umweltbelastungspunkte

Gemäss der umfassenderen Bewertung durch die Methodik der Umweltbelastungspunkte (UBP) belastet die **Alpiq** mit ihrem Strommix die Umwelt 2018 am meisten. Sie erzielt 347 UBP pro Kilowattstunde, gefolgt von der **BKW** mit 312 und der **Axpo** mit 316 UBP pro Kilowattstunde. Alle drei weisen somit im Vergleich zum Vorjahr eine minime Verbesserung auf, was die gesamte Umweltbelastung angeht. Mit einigem Abstand folgt **Repower** mit 178 UBP pro Kilowattstunde, welche ihre Bilanz dank der gesunkenen Gasstromproduktion somit stark verbessern konnte (2017: 209 UBP pro Kilowattstunde).

Abbildung 8: Erzeugte Umweltbelastungspunkte der vier grössten Schweizer Stromproduzenten.



3.7 Entwicklung über die Jahre

Eine Betrachtung über die Entwicklung der letzten vier Jahre zeigt auf: Der Anteil der CO₂-emittierenden Stromproduktion ist bei allen Versorgern bis 2017 stark angestiegen, 2018 ist aber bei sämtlichen ein Rückgang zu verzeichnen. Während es in den Vorjahren ein steter Ausbau der Stromproduktion aus fossilen Energieträgern gab, ist 2018 im Vergleich zum Vorjahr eine Reduktion sichtbar. In der Folge nahm die durchschnittliche CO₂-Belastung pro produzierte Kilowattstunde Strom ab und zwar bei sämtlichen Energieversorgern. Über die letzten vier Jahre gesehen nahm die Menge der radioaktiven Abfälle bis auf 2018 jedes Jahr ab. Der Grund lag in der Reduktion der Atomstromproduktion 2015 bis 2017 aufgrund verschiedener temporärer Betriebsstillstände (Beznau I und Leibstadt). Bezüglich der gesamthaften Umweltbelastung sind keine eindeutigen Trends erkennbar, 2018 nahm diese leicht ab. Grund ist in der tieferen Umweltbelastung durch die fossile Stromerzeugung zu finden, was die höhere Menge radioaktiven Abfalls überkompensierte.

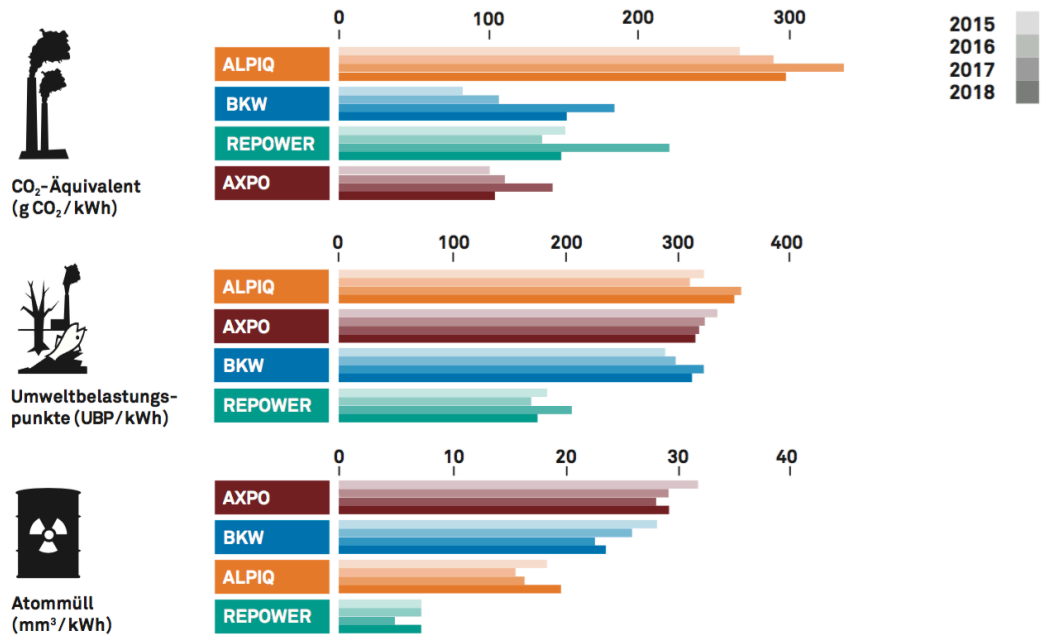
Tabelle 5 zeigt die Differenz der Jahresproduktion 2018 zu den Jahren 2017 und 2016.

Abbildung 9 zeigt die Entwicklung und Reihenfolge der vier Stromversorger zu den drei untersuchten Bereichen Treibhausgas-Emissionen, UBP und radioaktiver Abfall über die letzten vier Jahre grafisch auf.

Tabelle 5: Veränderung der Produktion nach Stromerzeugungstechnologie aller untersuchter Stromversorger, angegeben ist die Differenz 2018 zu 2017 sowie 2018 zu 2016.

| | Axpo | | Alpiq | | BKW | | Repower | |
|----------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Veränderung Produktion 2018 zu 2017 in GWh | Veränderung Produktion 2018 zu 2016 in GWh | Veränderung Produktion 2018 zu 2017 in GWh | Veränderung Produktion 2018 zu 2016 in GWh | Veränderung Produktion 2018 zu 2017 in GWh | Veränderung Produktion 2018 zu 2016 in GWh | Veränderung Produktion 2018 zu 2017 in GWh | Veränderung Produktion 2018 zu 2016 in GWh |
| Braunkohle | 0.0 | 0.0 | -85.0 | -166.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Steinkohle | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -118.0 | 544.1 | 0.0 | 0.0 |
| Erdgas | -1068.0 | -441.0 | -791.0 | 32.3 | -395.8 | -149.2 | -810.7 | 314.4 |
| AKW | 2237.0 | 286.0 | 571.0 | 432.0 | 25.9 | -187.7 | 22.1 | 51.1 |
| Wasserkraft | 1461.0 | 960.0 | 323.0 | -2051.0 | 50.4 | -114.1 | 44.2 | 312.7 |
| Kleinwasserkraft | 0.0 | 0.0 | -11.3 | -14.0 | 60.9 | 168.6 | 0.0 | 0.0 |
| Biomasse (MW LW/Holz) | 6.7 | 63.8 | 0.0 | 0.0 | -2.4 | -2.4 | 0.0 | 0.0 |
| Photovoltaik | 0.0 | 0.0 | 16.0 | 16.0 | 4.0 | 8.9 | 0.1 | 0.1 |
| Wind | 189.3 | 178.2 | 27.2 | 11.9 | 136.5 | 209.9 | 7.4 | -10.2 |
| Total neue Erneuerbare | 196.0 | 242.0 | 32.0 | 13.9 | 199.0 | 385.0 | 7.5 | -10.1 |
| Total Erneuerbare | 1657.0 | 1202.0 | 355.0 | -2037.1 | 249.4 | 270.9 | 51.7 | 302.6 |
| Fossiler / nuklearer Strom | 1169.0 | -155.0 | -305.0 | 298.0 | -487.9 | 207.2 | -788.6 | 365.5 |
| Total Stromproduktion | 2826.0 | 1047.0 | 49.9 | -1739.1 | -238.5 | 478.1 | -736.7 | 668.1 |

Abbildung 9: Erzeugte Umweltbelastungspunkte, CO₂-Äquivalente und radioaktive Abfälle der vier grössten Schweizer Stromproduzenten 2015 bis 2018.



4. Diskussion

4.1 Interpretation der Resultate

Die Resultate zeigen: Die vier grossen Stromversorger Axpo, Alpiq, BKW und Repower weisen mit ihrem Kraftwerkspark einen stärker fossil und nukleare geprägten Produktionsmix auf als der Durchschnitt des Schweizer Kraftwerksparks. 2018 setzte sich die Schweizer Stromproduktion gemäss Elektrizitätsstatistik aus 36.1% Atomkraftwerken, 30.4% Speicherkraftwerken, 25% Laufwasserkraftwerken, 4% diversen erneuerbaren Kraftwerken, 2.8% konventionell-thermischen nicht erneuerbaren Kraftwerken und 1.7% konventionell-thermisch erneuerbaren Kraftwerken zusammen. Dies bedeutet eine höhere Umwelt- und Klimabelastung durch den Kraftwerkspark der vier Energieversorger, verglichen mit dem inländischen Produktionsmix.

Im Gegensatz zu den Vorjahren gab es bei der Produktion durch fossile Kraftwerke 2018 einen leichten Rückgang. Eine Ursache ist der stark angestiegene CO₂-Preis. Im Vergleich zum Vorjahr stiegen die Preise für Emissionszertifikate 2018 um 170%. Ebenso stiegen die Kosten für Kohle und Gas, namentlich um 30% respektive 15% (in Euro, Agora 2019).

Die Produktion durch neue erneuerbare Kraftwerke nahm auch 2018 mit 15.4% signifikant zu, verbleibt aber mit 3'252 GWh (5%) auf sehr tiefem Niveau. Dies ist vornehmlich auf Investitionen in neue erneuerbare Energien im Ausland zurückzuführen, in der Schweiz nahmen solche nur geringfügig zu. Die totale Stromproduktion aus erneuerbaren Energien ist ebenfalls gestiegen, was auf die bessere Performance der Wasserkraftwerke zurückzuführen ist.

Schliesslich stieg der Anteil an nuklearer Stromproduktion. Einerseits ging im März 2018¹¹ das AKW Beznau I nach dreijährigem Stillstand wieder ans Netz. Andererseits hat das AKW Leibstadt erstmals wieder das ganze Jahr über konstant produziert, womit das Produktionsvolumen um 40% gesteigert wurde, jedoch blieb die Leistung der Anlage noch auf 91% durchschnittlich beschränkt. Wegen der erhöhten Wassertemperaturen der Aare lief das AKW Beznau im Sommer jedoch vorübergehend mit reduzierter Leistung. Aus dem selben Grund drosselte das AKW Mühleberg seine Leistung.

4.2. Ausblick

Im Bereich der nuklearen Stromprodukte wird es ab 2019 eine Reduktion geben, denn die BKW wird das AKW Mühleberg Ende 2019 stilllegen. Ansonsten sind im nuklearen Bereich keine Veränderungen absehbar. Aufgrund der mangelnden Rentabilität der Werke und der hohen Unsicherheiten bezüglich der Entwicklung der Stilllegungs- und Entsorgungskosten besteht auf dem Markt keine Nachfrage, mit der Veräusserung von Anteilen ist nicht zu rechnen. Gleichzeitig lehnen sämtliche AKW-Betreiber Investitionen in neue AKW entschieden ab. Was die weiteren vier Reaktoren angeht, so sind die AKW Beznau und Gösgen bereits im Langzeitbetrieb (ab 40 Jahren Betriebsdauer, gemäss Kernenergieverordnung). Leibstadt wird in 5 Jahren ebenfalls soweit sein.

Der Ausbau der neuen erneuerbaren Energien wird vorangetrieben. Repower hat seinen Ausstieg aus fossilen und nuklearen Energien angekündigt und wird gemäss Strategie ausschliesslich in Erneuerbare investieren. Auch die BKW

¹¹ ENSI: ENSI erteilt Freigabe zum Wiederaufstart von Block 1 des KKW Beznau, 19.03.2019.

investiert seit 2013 ausschliesslich in erneuerbare Energien. Im Juli 2019 kündigte der Energieversorger an, dass bis 2023 75% der installierten Leistung des BKW Produktionsparks erneuerbar sein sollen.¹² Auch die Axpo betont, das Wachstumspotential der neuen Energien nutzen zu wollen, ebenso die Alpiq. Jedoch geschieht der Ausbau der Erneuerbaren vornehmlich im Ausland und kaum im Inland. Die Energiestrategie 2050 sieht zwar einen verstärkten Ausbau der erneuerbaren Energien im Inland vor. Die jetzigen Instrumente sind jedoch nicht ausreichend, um die definierten Ziele bis 2035 zu erreichen.¹³ Investitionen in neue Kraftwerke im Inland lohnen sich nach wie vor nicht, weshalb ein inländischer Ausbau im benötigten Ausmass nicht zu erwarten ist, solange die regulatorischen Rahmenbedingungen sich nicht ändern. Grund liegt in den tiefen Erlösen am Strommarkt, mit denen sich neue Anlagen nicht refinanzieren können. Die aktuelle Revision des Stromversorgungsgesetzes kann Rahmenbedingungen entsprechend setzen. Bundesrat, Parlament sowie Kantone und Gemeinden sind gefordert, weitere Verbesserungen umzusetzen.

Im Gegensatz dazu treiben die Schweizer Stromversorger ihren Ausbau erneuerbaren Energien im Ausland voran, da dort bessere Rahmenbedingungen für Investoren herrschen. Eine Untersuchung von Energie Zukunft Schweiz zeigt auf, dass Schweizer Energieversorger und Investoren in ausländische, erneuerbare Kraftwerke mit einer Jahresproduktion von 8.3 TWh investiert haben (Stand: März 2018).¹⁴ Das Volumen ist somit mehr als doppelt so gross wie die aus dem Netzzuschlag mitfinanzierte Neuproduktionen von inländischen erneuerbaren Anlagen.¹⁵

Ob demgegenüber auch ein Ausstieg aus den fossilen und nuklearen Kraftwerken im Ausland erfolgen wird, unterliegt jedoch alleine bei den betriebswirtschaftlichen Überlegungen der Energieversorger sowie den Rahmenbedingungen in den Ländern, in denen investiert wird. Einzig Repower hat seinen Ausstieg aus den fossilen und nuklearen Energien angekündigt.¹⁶ Alpiq hat zudem im Bereich Kohle devestiert und seine beiden Kohlekraftwerke Kladno und Zlín in Tschechien im Mai 2019 verkauft,¹⁷ verfügt jedoch nach wie vor über Gaskraftwerke. Die Entwicklung der CO₂-Preise wird einen entscheidenden Einfluss auf die Rentabilität der fossilen Kraftwerke haben. 2019 tritt der Market Stability Reserve (MSR) in Kraft mit dem Ziel, die überflüssigen Zertifikate zu reduzieren, da momentan noch immer ein Überangebot an Kohlestoffzertifikaten herrscht. Ein Erfolg des MSR ist nötig, damit der EU-ETS funktioniert und Kostenwahrheit abbilden kann.

Da die vier untersuchten Stromversorgungsunternehmen grossmehrheitlich der öffentlichen Hand gehören, sollten sie die von der Bevölkerung beschlossenen Ziele der Energiestrategie 2050 im In- und Ausland vertreten. Die Eignerkantone

¹² BKW: Green Bond erfolgreich platziert, 01.07.2019.

¹³ Die im revidierten Energiegesetz festgelegten Ziele definieren eine durchschnittliche inländische Stromproduktion durch erneuerbare Energien von mindestens 4.4 TWh im Jahr 2020 und mindestens 11.4 TWh im Jahr 2035 (exklusive Wasserkraft). (Energiegesetz vom 30. September 2016, in Kraft seit dem 1. Januar 2018).

¹⁴ Energie Zukunft Schweiz: Investments in renewable energy production outside Switzerland by Swiss energy providers and institutional investors, Mai 2018.

¹⁵ Rechsteiner R. et al.: Photovoltaik als kostengünstigste Stromquelle dauerhaft blockiert? Analyse der Mittelverwendung aus dem Netzzuschlag 2008 – 2019 und Vorschläge zur Optimierung, Oktober 2018.

¹⁶ Repower: Strategie 2025. Mit einer neuen Strategie in die Zukunft, 2016.

¹⁷ Alpiq: Alpiq devestiert Kohlekraftwerke Kladno und Zlín, 17.05.2019.

könnten bei der Umstellung auf erneuerbare Energien eine gewichtigere Rolle spielen, als sie dies bislang tun. Um aber insgesamt die Energiewende zu beschleunigen, muss die Politik einerseits für Kostenwahrheit mittels höheren CO₂-Preisen sorgen und andererseits den Strommarkt so umgestalten, dass die kostendeckende Produktion neuer erneuerbaren Energien sicherstellt ist.

5. Quellen

- Agora Energiewende und Sandbag, *The European Power Sector in 2018. Up-to-date analysis on the electricity transition*, Berlin und London 2019.
Verfügbar unter: https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2018/EU-Jahresauswertung_2019/Agora-Energiewende_European-Power-Sector-2018_WEB.pdf (Letzter Zugriff: 10.07.2019).
- Axpo Holding AG, *Geschäftsbericht 2017/2018*, Baden 2019.
Verfügbar unter: https://www.axpo.com/content/dam/axpo2/Documents/Global/InvestorRelations/181211_GB_Axpo_Holding_17_18_Vollversion_DE_V27.pdf (Letzter Zugriff: 10.07.2019).

Axpo Holding AG, *Nachhaltigkeitsbericht 2017/2018*, Baden 2019.
Verfügbar unter: <https://www.axpo.com/content/dam/axpo2/Documents/Global/InvestorRelations/181212%20Axpo%20Nachhaltigkeitsbericht%202018%20DE%20final.pdf> (Letzter Zugriff: 10.07.2019).
- Axpo Holding AG, *Eignerstrategie der Aktionäre der Axpo Holding AG*, 2019.
Verfügbar unter: https://www.ag.ch/media/kanton_aargau/dfr/dokumente_3/finanzen/beteiligungen/eigentuemersstrategien/Axpo_Eignerstrategie.pdf (Letzter Zugriff: 10.07.2019).
- Axpo Holding AG, in Rücksprache mit Antonio Somnavilla 07.06.2019: Die Axpo weist die genaue Produktion durch die Kraftwerkstypen unter den neuen erneuerbaren Energien nicht aus, gemäss Axpo Medien beträgt die geschätzte Aufschlüsselung: Wind Onshore 67%, Wind Offshore 24%, Biomasse 9%.
- Alpiq Holding AG, *Geschäftsbericht 2018*, Lausanne 2019.
Verfügbar unter: https://www.alpiq.com/fileadmin/user_upload/documents/publications/annual_report/alpiq_annual_report_2018_de.pdf (Letzter Zugriff: 10.07.2019).
- Alpiq Holding AG, Informationen zum Kraftwerkpark:
Verfügbar unter: <https://www.alpiq.com/de/stromproduktion/> (Letzter Zugriff: 10.07.2019).
- Alpiq Holding AG, in Rücksprache mit Sabine Labonte, 12.06.2019: Alpiq erteilt keine Auskünfte zur Produktion gemäss Kraftwerkstyp, sondern nur je Land. Gemäss Alpiq Medien beträgt die geschätzte Aufschlüsselung:

lung der Produktion der neuen erneuerbaren Energien: Windkraft 85%, Kleinwasserkraft 12%, PV 3%. Bezüglich der tschechischen Produktion stammen 99% aus Kohle- und 1% aus Gaskraftwerken.

- Alpiq Holding AG, *Alpiq devestiert Kohlekraftwerke Kladno und Zlín*, Medienmitteilung, Lausanne 17.05.2019.
- Bauer C., Frischknecht R., Eckle P., Flury K., Neal T., Papp K., Schori S., Simons A., Stucki M. und Treyer K., *Umweltauswirkungen der Stromerzeugung in der Schweiz*, ESU-services Ltd & Paul Scherrer Institut im Auftrag des BFE, Uster und Villigen 2012.
- BKW AG, *Geschäftsbericht 2018*, Bern 2019.
Verfügbar unter:
https://www.bkw.ch/fileadmin/user_upload/4_Ueber_BKW/Investor_Relations/GB18/Geschaeftsbericht_2018_de.pdf (Letzter Zugriff: 10.07.2019).
Der Bericht BKW Bericht «Zahlen und Fakten» stellt transparent eine genaue Zusammenstellung der Jahresproduktion pro Kraftwerk zur Verfügung.
- BKW AG, *Green Bond erfolgreich platziert*, Medienmitteilung, Bern 01.07.2019.
Verfügbar unter:
http://e3.marco.ch/publish/bkw/1111_6772/190701_MM_Green_Bond_DE.pdf (Letzter Zugriff: 10.07.2019).
- Bundesamt für Energie, *Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2018*, Bern 2019.
Verfügbar unter:
https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geodaten/energiestatistiken/elektrizitaetsstatistik/_jcr_content/par/tabs/items/tab/tabpar/externalcontent.external.exturl.pdf/aHR0cHM6Ly9wdWJkYi5iZmUuYWRTaW4uY2gvZGUvcHVibGljYX/Rpb24vZG93bmxvYWQvOTc0OC5wZGY=.pdf (Letzter Zugriff: 10.07.2019).

Energie Zukunft Schweiz, *Investments in renewable energy production outside Switzerland by Swiss energy providers and institutional investors*, Mai 2018.
Verfügbar unter: https://energiezukunftschweiz.ch/wAssets/docs/hkn-neue-energie/2018_Bericht_Investitionen_EE_Update_FEB_V2.pdf (Letzter Zugriff: 10.07.2019).
- ENSI, *ENSI erteilt Freigabe zum Wiederanfahren von Block 1 des KKW Beznau*, 19. März 2019.
Verfügbar unter: <https://www.ensi.ch/de/2018/03/19/ensi-erteilt-freigabe-zum-wiederanfahren-von-block-1-des-kkw-beznau/> (Letzter Zugriff: 10.07.2019).

- Frischknecht R., Itten R., Wyss F., Blanc I., Heath G., Rauegi M., Sinha P., und Wade A., *Life Cycle Assessment of Future Photovoltaic Electricity Production from Residential-scale Systems Operated in Europe*, Subtask 2.0 „LCA“ IEA-PVPS Task 12, 2015.
Verfügbar unter:
http://treeze.ch/fileadmin/user_upload/downloads/Publications/Case_Studies/Energy/Future-PV-LCA-IEA-PVPS-Task-12-March-2015.pdf (Letzter Zugriff: 10.07.2019).
- KBOB, eco-bau und IPB, *Ökobilanzdaten im Baubereich, ecoinvent Datenbestand v2.2+; Grundlage für die KBOB-Empfehlung 2009/1:2014*, Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik, 2014.
- Kernkraftwerk Gösgen-Däniken AG, *Geschäftsbericht 2018*, Däniken 2019.
Verfügbar unter: https://www.kkg.ch/upload/cms/user/gb_2018.pdf (Letzter Zugriff: 10.07.2019).
- Kernkraftwerk Leibstadt AG, *Geschäftsbericht 2018*, Leibstadt 2019.
Verfügbar unter:
https://www.kkl.ch/fileadmin/seiteninhalt/Dateien/01_Unternehmen/E_Publikationen/Geschäftsberichte/geschaeftsbericht_2018.pdf (Letzter Zugriff: 10.07.2019).
- Rechsteiner R. et al., *Photovoltaik als kostengünstigste Stromquelle dauerhaft blockiert? Analyse der Mittelverwendung aus dem Netzzuschlag 2008 – 2019 und Vorschläge zur Optimierung*, Oktober 2018.
Verfügbar unter: <https://energiestiftung.ch/publikation-studien/photovoltaik-als-kostenguenstigste-stromquelle-dauerhaft-blockiert.html> (Letzter Zugriff: 10.07.2019).
- Repower AG, *Strategie 2025*, in: *Geschäftsbericht 2015*, 2016.
Verfügbar unter:
https://onlinereport.repower.com/15/ar/de/jahresbericht/strategie_2025.htm (Letzter Zugriff: 10.07.2019).
- Repower AG, *Geschäftsbericht 2018*, Poschiavo 2019.
Verfügbar unter:
https://onlinereport.repower.com/18/ar/app/uploads/Repower_Jahresbericht_2018.pdf (Letzter Zugriff: 10.07.2019).
- Repower AG, in Rücksprache mit Thomas Grond, 07.06.2019: Die Produktion aus PV betrug 2018 0.3 GWh.
- Schlömer et al., Annex III: Technology-specific cost and performance parameters. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge UK und New York, 2014.
Verfügbar unter:

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_annex-iii.pdf (Letzter Zugriff: 10.07.2019).

- Stolz P. und Frischknecht R., *Umweltkennwerte und Primärenergiefaktoren von Energiesystemen. KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016, Stand 2016*, treeze, Uster, 24.02.2017.

Verfügbar unter:

http://treeze.ch/fileadmin/user_upload/downloads/Publications/Case_Studies/Energy/563-Energiesysteme-v1.0.pdf (Letzter Zugriff: 10.07.2019).