

Sachdokumentation:

Signatur: DS 2736

Permalink: www.sachdokumentation.ch/bestand/ds/2736



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 2020

«STROMMIX 2019»

UMWELTBELASTUNG AUS DER STROMPRODUKTION DER VIER GRÖSSTEN SCHWEIZER STROMVERSORGER 2019

Kurzstudie | Florian Brunner, 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 die Klima- und Umweltbelastung aus der Stromproduktion 2019 der vier grössten Schweizer Energieversorger Axpo, Alpiq, BKW und Repower. Untersucht werden Treibhausgasemissionen (gemessen in CO₂-Äquivalenten), Umweltbelastung (gemessen in Umweltbelastungspunkten) sowie die Menge an radioaktivem Abfall aller Kraftwerke im In- und Ausland. Insgesamt fallen zwei Drittel der Stromproduktion in fossilen oder nuklearen Kraftwerken an und ein Drittel in erneuerbaren Kraftwerken. Der Anteil an CO₂-emittierender Stromproduktion ist im Vergleich zum Vorjahr leicht zurückgegangen. Grund dafür ist eine geringere Kohlestromproduktion bei den fossil-thermischen Kraftwerken, dem gegenüber steht eine leicht erhöhte Erdgasstromproduktion. Die Stromproduktion durch neue erneuerbare Energien (Sonne, Wind und Biomasse) nahm zwar leicht zu, jedoch auf sehr tiefem Niveau und der Anteil erhöhte sich nur geringfügig von 5% auf 5.2%. Im Vergleich zum durchschnittlichen Schweizer Strommix weisen die vier grössten Schweizer Stromversorger einen überdurchschnittlichen Anteil an fossilen und nuklearen Kraftwerken mit entsprechend höherer Klima- und Umweltbelastung auf.

Inhalt

1. Einleitung	4
2. Methodik	5
2.1 Radioaktive Abfälle.....	5
2.2 Treibhausgasemissionen.....	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	14
3.4 Erzeugte Emissionen in CO ₂ -Äquivalenten	14
3.5 Erzeugte radioaktive Abfälle.....	15
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 2019 in ihren Kraftwerken 70'191 Gigawattstunden Strom erzeugt. In der vorliegenden Kurzstudie analysiert die Schweizerische Energie-Stiftung SES deren Stromproduktion (im In- und Ausland) nach Energiequelle und berechnet die resultierende Klima- und Umweltbelastung. Die Ergebnisse zeigen auf, wie viel radioaktiver Abfall und welche Menge Treibhausgase (in CO₂-Äquivalenten) 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, interpretiert und macht einen Ausblick.

2. Methodik

Gegenstand der Untersuchung ist die Stromproduktion der 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 schriftlich Rücksprache mit den Unternehmen gehalten.

Es wurde jeweils die gesamte Stromproduktion 2019, 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 Treibhausgasemissionen

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 (CO₂-eq) 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 ²	0.129	477.78
AKW ³	0.006	22.22
Wasserkraft ⁴	0.003	11.11
Biomasse ⁵	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 Die Klimabilanz von Erdgas ist mit Vorsicht zu geniessen, da in Ökobilanzen Methanverluste beim Transport unterschätzt werden, weitere Informationen siehe auch Kap. 4.2.

³ 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.

⁴ Für die Kleinwasserkraft wurde mit Werten der Grosswasserkraft gerechnet, da für Kleinwasserkraft die nötigen Daten nicht existieren und die Produzenten diese nicht immer separat ausweisen.

⁵ 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 berücksichtigt eine grosse Palette von Umweltbelastungen und erlaubt eine Umweltbewertung über den gesamten Lebenszyklus. Sie gewichtet in einer Ökobilanz verschiedene Umweltwirkungen, ausgedrückt in sogenannten Umweltbelastungspunkten (UBP). Die UBP berücksichtigen somit die gesamte Umweltbelastung der Stromproduktion, von der Gewinnung der Rohstoffe bis zur Entsorgung der Abfälle, inklusive Treibhausgasemissionen, weitere Schadstoff-Emissionen (wie Schwermetalle, Nitrat oder Phosphor), radioaktive Abfälle, Sonderabfälle, 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.⁶

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 ⁷	302.5	1120.37
Erdgas	85.6	317.04
AKW	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 ⁷	28.6	105.93

Daten: Stolz und Frischknecht (2017).

⁶ 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-oeko-logischen-knappheit.html>

⁷ Keiner der Produzenten weist Erdöl- oder Geothermiekraftwerke aus. Diese Werte werden der Vollständigkeit halber und zwecks besserer Vergleichbarkeit aufgeführt.

⁸ Für die Kleinwasserkraft wurde mit Werten der Grosswasserkraft gerechnet, da für Kleinwasserkraft die nötigen Daten nicht existieren und die Produzenten diese nicht immer separat 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 Methode der ökologischen Knappheit (UBP) gibt ein aussagekräftigeres Bild ab als ein ausschliesslicher Fokus auf die Treibhausgasemissionen. So zeigt sich beispielsweise, dass die Photovoltaik bei Betrachtung der Treibhausgasemissionen in CO₂-Äquivalenten unter den untersuchten Stromerzeugungstechnologien mit 100 g CO₂-eq/kWh erst an fünfter Stelle auftritt. Im Vergleich dazu schneidet die Atomstromproduktion mit 22.22 g CO₂-eq/kWh oder die Windenergie mit 25.93 g CO₂-eq/kWh besser ab. Eine Betrachtung mittels Umweltbelastungspunkten relativiert diesen Befund. Dabei wird die Klima- und Umweltbelastung von Photovoltaik über den gesamten 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 auch der anfallende radioaktive Abfall, Feinstaub, Landnutzung, kumulativer Energiebedarf (erneuerbar und nicht-erneuerbar), abiotische Ressourcenverknappung oder ionisierende Strahlung berücksichtigt. So weist die Atomstromproduktion mit 465.93 UBP pro kWh im Vergleich zu Photovoltaik mit 179.26 UBP pro kWh eine deutlich höhere Umweltbelastung auf.

Wichtig bei umweltbezogenen Überlegungen ist zudem, in welche Richtung sich eine Technologie zukünftig entwickelt. 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 Treibhausgasemissionen von Photovoltaikstrom. Ebenfalls nimmt der Wirkungsgrad von Photovoltaik-Modulen ständig zu. Frischknecht et al. (2015) schätzen, dass der Treibhausgasausstoss von Photovoltaikstrom bis in den Jahren 2030 bis 2050 um 69% abnehmen wird. Ferner ist bei der Photovoltaik nicht nur mit stetig sinkenden Treibhausgasemissionen, sondern auch mit einer sinkenden Gesamtumweltbelastung zu rechnen. Im Rahmen einer Aktualisierung dieser Studie zugrundeliegenden KBOB-Ökobilanzdatenbestands¹¹ wird eine deutliche Reduktion der Kennwerte für PV erwartet. Erste provisorische Daten für 2020 zeigen für die dominante PV-Technologie Monokristallines Silizium, dass die Gesamtumweltbelastung von PV (in UBP pro kWh) heute um knapp 40% tiefer liegen dürfte als noch vor fünf Jahren. Die Treibhausgasemissionen von PV (in g CO₂-eq/kWh) dürften gegenüber den bisherigen Daten um über 50% tiefer liegen.

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).

¹¹ Die KBOB-Empfehlung 2009/1:2016 (Ökobilanzdatenbestand) wird per 1. Quartal 2021 aktualisiert: https://www.kbob.admin.ch/kbob/de/home/publikationen/nachhaltiges-bauen/okobilanzdaten_baubereich.html

3. Resultate

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

Tabelle 4: Gesamtübersicht Produktion und Anteile der verschiedenen Produktionsarten im Jahr 2019 aller untersuchten Stromversorger

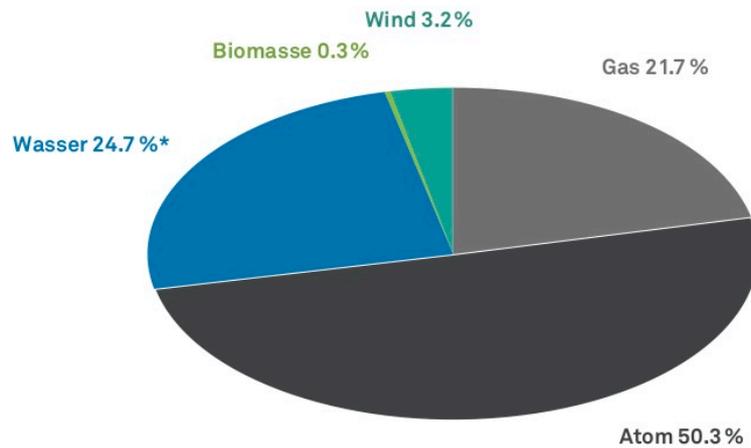
	Axpo		Alpiq		BKW		Repower		Total	
	Produktion 2019 in GWh	%								
Braunkohle	0.0	0.0	1266.2	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1266.2	1.8
Steinkohle	0.0	0.0	0.0	0.0	354.7	2.9	0.0	0.0	354.7	0.5
Erdgas	8470.0	21.7	4178.8	27.1	1190.0	9.7	1274.7	37.0	15113.4	21.5
AKW	19656.0	50.3	5087.0	33.0	5343.0	43.7	310.1	9.0	30396.1	43.3
Wasserkraft	9644.0	24.7	4313.0	28.0	3854.2	31.5	1619.2	47.0	19430.4	27.7
Kleinwasserkraft	0.0	0.0	74.2	0.5	331.0	2.7	0.0	0.0	405.2	0.6
Biomasse	98.9	0.3	0.0	0.0	10.9	0.1	0.0	0.0	109.8	0.2
Photovoltaik	0.0	0.0	18.5	0.1	8.8	0.1	34.5	1.0	61.8	0.1
Wind	1236.1	3.2	469.3	3.0	1140.9	9.3	206.7	6.0	3053.0	4.3
Total neue Erneuerbare	1'335.0	3.4	562.0	3.6	1'491.6	12.2	241.2	7.0	3'629.8	5.2
Total erneuerbarer Strom	10'979.0	28.1	4'875.0	31.6	5'345.8	43.7	1'860.3	54.0	23'060.1	32.9
Fossiler / nuklearer Strom	28'126.0	71.9	10'532.0	68.4	6'887.7	56.3	1'584.7	46.0	47'130.4	67.1
Total Stromproduktion	39'105.0	100.0	15'407.0	100.0	12'233.5	100.0	3'445.0	100.0	70'190.5	100.0
CO2-Äquivalent g/kWh	119		256		100		187		149	
UBP/kWh	317		322		280		187		305	
rad. Abfälle in mm3/kWh	28		18		24		5		24	

Daten: Eigene Berechnungen.

3.1 Produktionsmix

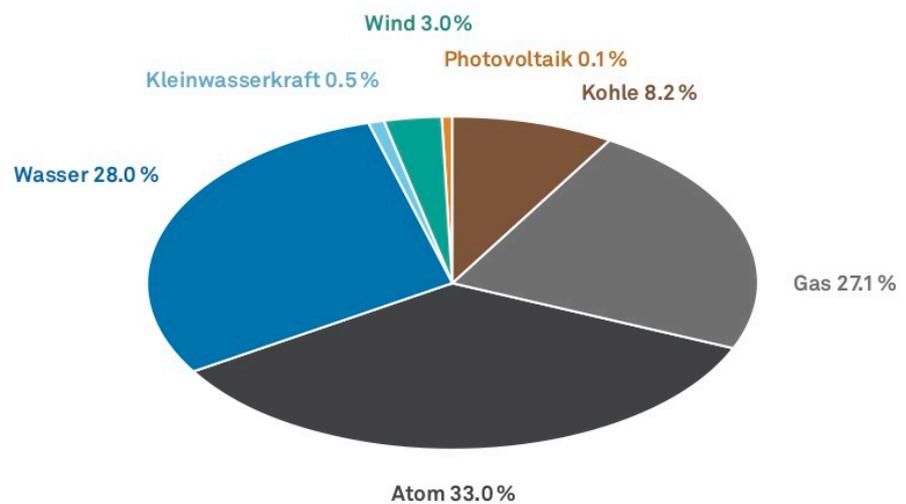
Axpo, Alpiq und BKW produzieren ihren Strom nach wie vor vorwiegend mit nuklearen und fossilen Kraftwerken. Die Wasserkraft und vor allem die neuen erneuerbaren Energien (Photovoltaik, Wind, Biomasse und Kleinwasserkraft) spielen eine untergeordnete Rolle und erreichen über alle vier Stromversorger zusammen einen durchschnittlichen Anteil von einem Drittel. Die nachfolgenden Abbildungen 1 bis 4 zeigen den Stromproduktionsmix der vier Stromversorger.

Abbildung 1: Zusammensetzung der **Axpo**-Stromproduktion 2019 im In- und Ausland nach Stromerzeugungstechnologie. (Rundungsbedingt sind Abweichungen der Nachkommastellen im Vergleich zu den absoluten Produktionsanteilen möglich.) *Kleinwasserkraftwerke werden der Wasserkraft zugerechnet.



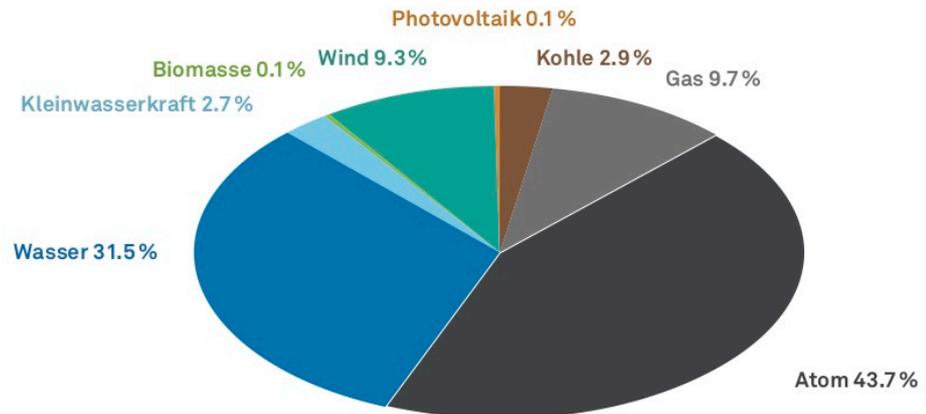
Anteil neue erneuerbare Energien: 3.5 % (2018: 3.6 %)

Abbildung 2: Zusammensetzung der **Alpiq**-Stromproduktion 2019 im In- und Ausland nach Stromerzeugungstechnologie.



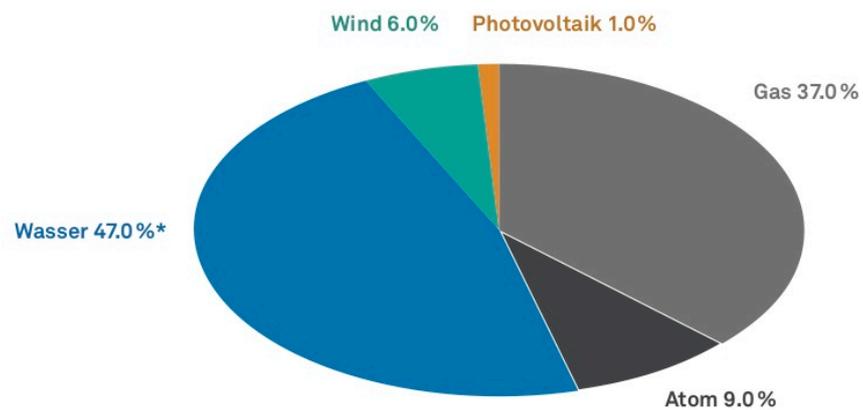
Anteil neue erneuerbare Energien: 3.6 % (2018: 3.6 %)

Abbildung 3: Zusammensetzung der **BKW**-Stromproduktion 2019 im In- und Ausland nach Stromerzeugungstechnologie. (Rundungsbedingt sind Abweichungen der Nachkommastellen im Vergleich zu den absoluten Produktionsanteilen möglich.)



Anteil neue erneuerbare Energien: 12.2 % (2018: 11.2 %)

Abbildung 4: Zusammensetzung der **Repower**-Stromproduktion 2019 im In- und Ausland nach Stromerzeugungstechnologie. *Kleinwasserkraftwerke werden der Wasserkraft zugerechnet.

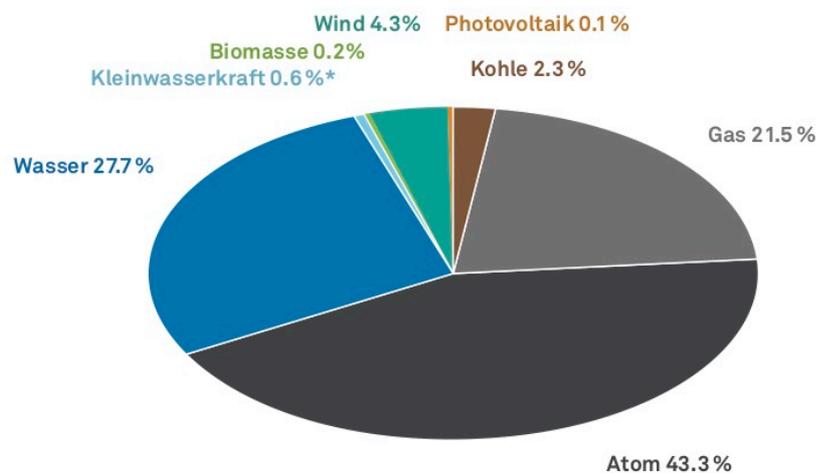


Anteil neue erneuerbare Energien: 7.0 % (2018: 4.0 %)

Der Produktionsmix der vier grossen Schweizer Stromversorger ist im Schnitt somit deutlich schmutziger als der Landesmix (Schweizer Stromproduktion gemäss Elektrizitätsstatistik). Dieser besteht zu 56.4% aus Wasserkraft, der Anteil an Atomkraft und fossil-thermischer Kraftwerke liegt bei 35.2% respektive 2.6% (Bundesamt für Energie 2020).

Im vergangenen Jahr haben die vier Stromversorger etwas weniger als die Hälfte (43.3%) oder 30'396 GWh ihres Stroms mit Atomkraft produziert. An zweiter Stelle steht die Stromproduktion aus Wasserkraft (27.7%), es folgt Strom aus ausländischen Gas- oder Kohlekraftwerken mit (23.8%). Trotz konstantem Zuwachs spielen die neuen erneuerbaren Energien bei den Stromversorgern mit 5.2% nach wie vor bloss eine marginale Rolle. Der grösste Anteil hiervon kommt der Windkraft zu, welche einen Anteil von 4.3% oder 3'053 GWh produziert. Die nachfolgende Abbildung 5 zeigt den durchschnittlichen Produktionsmix sämtlicher vier Stromversorger.

Abbildung 5: Durchschnittliche Zusammensetzung der Stromproduktion der vier grössten Schweizer Stromproduzenten 2019 im In- und Ausland nach Stromerzeugungstechnologie. *Axpö und Repower: Kleinwasserkraftwerke werden der Wasserkraft zugerechnet.



Anteil neue erneuerbare Energien: 5.2 % (2018: 5.0 %)

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 Energien zulegen. Der Ausbau der Kapazitätsleistung geschah vornehmlich im Bereich der neuen erneuerbaren Energien im Ausland. Die Axpö erhöhte ihre Leistung insbesondere durch die Übernahme des französischen Photovoltaikunternehmens Urbasolar, bei der BKW gingen weitere norwegische Windkraftanlagen ans Netz. Die Alpiq investierte weiter in Windkraft- und Photovoltaikanlagen in Italien. Auch Repower vergrösserte seine Kapazitäten im Bereich neue Erneuerbare (Wind und Solar).

Die **Axpo** erhöhte ihre installierte Leistung im Bereich neue erneuerbare Energien im Ausland auch im letzten Jahr, namentlich auf 640 MW. Das bedeutet einen Zuwachs im Vergleich zum Vorjahr (490 MW) um 30%. Der Zuwachs im letzten Jahr ist hauptsächlich auf die Neuakquisition von Urbasolar in Frankreich (Photovoltaik) 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 (inklusive Kleinwasserkraft) mit 4'300 MW. Die zweitgrösste installierte Kapazität ist auf Atomkraft im In- und Ausland zurückzuführen mit 1'500 MW respektive 1'200 MW, zusammen 2'700 MW. Drittens verfügt die Axpo über ausländische Gas-Kombikraftwerke in Italien mit einer installierten Leistung von 1'700 MW. Die erhöhte Produktionsmenge dieser Gaskraftwerke im Vergleich zum Vorjahr ist laut Axpo auf bessere Marktbedingungen und eine höhere Anlagenverfügbarkeit zurückzuführen.

Bei der **Alpiq** entfallen die Hauptanteile der installierten Leistung auf inländische Wasserkraft (2'910 MW) und ausländische Gas- und Kohlekraftwerke (1'317 MW). Dazu kommen Anteile an den AKW Gösgen und Leibstadt (insgesamt 676 MW) sowie Kapazitäten im Bereich neue erneuerbare Energien (Kleinwasserkraft, Wind und Photovoltaik) von 326 MW. Das Portfolio zeigt eine Reduktion der Gaskraft, da in Spanien ab Mitte des letzten Jahres installierte Leistung von 423 MW unter Management der Alpiq wegfiel. Im Bereich der konventionell-thermischen Kraftwerke fällt allgemein ein tieferer Ergebnisbeitrag auf. Der Grund dafür ist insbesondere die Veräusserung der beiden tschechischen Kohlekraftwerke Kladno und Zlín im August 2019. Seit diesem Verkauf betreibt Alpiq keine Kohlekraftwerke mehr. Die Gas-Kombikraftwerke in Spanien und Italien können laut Alpiq sehr flexibel eingesetzt werden, was die von Jahr zu Jahr sehr unterschiedlichen Produktionszahlen erklärt.

Die **BKW** verfügt per Ende 2019 über knapp 1'700 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 530 MW aus neuen erneuerbaren Energien. Die grösste Änderung im Vergleich zum Vorjahr stellt der Zuwachs der Windenergie dar. Hierzu hat das norwegische Onshore-Windkraftwerk in Marker beigetragen, dieses wurde im März 2019 im Südosten von Norwegen in Betrieb genommen und soll mit einer installierten Leistung von 54 MW 193 GWh Strom pro Jahr produzieren¹². Weitere Windkraftanlagen in Norwegen mit Beteiligung der BKW befinden sich in Bau. Bei der Stromproduktion führte eine planmässige Revision im Kohlekraftwerk Wilhelmshaven zu Minderproduktionsmengen, während die Produktionsmengen in den Gaskraftwerken gesteigert wurden. Laut BKW liegt der Grund für die Zunahme beim Gas und die Abnahme bei der Kohle in der Verschiebung der «Merit-Order»¹³ der jeweiligen Kraftwerkstechnologie. 2019 war bei den Grosshandelsmarktpreisen zu beobachten, dass CO₂-Emissionszertifikate steigen, bei gleichzeitig eher konstanten Kohlepreisen und fallenden Gaspreisen. Als Resultat wurde die Stromproduktion aus Kohle teurer und durch die Stromerzeugung aus Gas verdrängt. Entsprechend laufen Kohlekraftwerke mit weniger und Gaskraftwerke mit mehr Betriebsstunden, was sich auch im

¹² BKW-Medienmitteilung vom 28.03.2019: <https://www.bkw.ch/de/ueber-bkw/medien/detail/bkw-nimmt-neues-windkraftwerk-in-norwegen-in-betrieb>

¹³ Merit-Order ist die Reihenfolge, in der die Kraftwerke ans Netz gehen.

Produktionspark der BKW widerspiegelt.

Bei **Repower** stammen mehr als die Hälfte der installierten Leistung aus der Wasserkraft (446 MW). Danach stellt das italienische Gaskraftwerk Teverola mit 244 MW den grössten Anteil am Kraftwerkspark dar. Die restlichen Kapazitäten verteilen sich auf Windkraftwerke (in Italien und Deutschland, 91 MW), Bezugsrechte aus AKW in der Schweiz und in Frankreich (48 MW) sowie die Photovoltaik (8 MW). Unterschiede zum Vorjahr sind vornehmlich auf den Ausbau der erneuerbaren Energien im Ausland zurückzuführen: So hat das Unternehmen in Lübbenau (Deutschland) eine neue Windturbine in Betrieb genommen. Im Bereich Gaskraft fällt ein höherer Ergebnisbeitrag auf. Das hat laut Repower vornehmlich mit einer erhöhten Nachfrage zu tun. Das Gaskraftwerk in Italien kann flexibel eingesetzt werden, was von Jahr zu Jahr zu unterschiedlichen Produktionszahlen führen kann.

3.3 Verteilung in In- und Ausland

Bei der **Axpo** befinden sich alle Wasserkraftwerke in der Schweiz. Bei den Atomkraftwerken ist etwas mehr als die Hälfte des Portfolios auf installierte Leistung im Inland zurückzuführen, während die ausländischen Produktionsanteile Langfristbezugsrechte 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 und Photovoltaik im Ausland (Deutschland, Frankreich, Italien und Spanien).

Bei der **Alpiq** zeigt sich ein sehr ähnliches Bild. Alle Wasserkraftwerke befinden sich in der Schweiz. Strom aus fossilen Energien wird neben Italien auch in Spanien, Tschechien und Ungarn produziert. Zudem verfügt Alpiq über Windkraftanlagen, Photovoltaikanlagen und Kleinwasserkraftwerke in Bulgarien, der Schweiz, Italien und Frankreich.

Die Kraftwerksparks 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 Bezugsrechte von französischen Atomkraftwerken, 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 256 g CO₂-eq/kWh produziert. Da die anteilmässige Produktion von Kohlestrom reduziert wurde, wurden die Emissionen im Vergleich zum Vorjahr beträchtlich reduziert (2018: 298 g CO₂-eq/kWh). **Repower** rutscht vor auf den zweiten Platz mit 187 g CO₂-eq/kWh wegen gestiegener Erdgasstromproduktion. Es folgt die **Axpo** mit durchschnittlich 119 g CO₂-eq/kWh. Mengemässig produziert die Axpo mit 8'470 GWh am meisten Strom aus fossilen Kraftwerken. Die **BKW** hat mit 100 g CO₂-eq/kWh seine Emissionswerte im Vergleich zum Vorjahr stark reduziert

(2018: 156 g CO₂-eq/kWh), was auf die ausfallbedingt stark gesunkene Stromproduktion aus Steinkohle zurückzuführen ist. 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 2019 pro Kilowattstunde 28 Kubikmillimeter radioaktiven Abfall produziert und liegt somit minim unter dem Vorjahreswert (2018: 29 mm³ Atommüll pro Kilowattstunde). An zweiter Stelle rangiert die **BKW**, welche durchschnittlich mit 24 Kubikmillimeter pro Kilowattstunde ebenfalls für relativ viel radioaktiven Abfall verantwortlich ist. Es folgen die **Alpiq** mit durchschnittlich 18 Kubikmillimeter pro Kilowattstunde und schliesslich **Repower** (5 Kubikmillimeter pro Kilowattstunde), die nur wenige AKW-Bezugsrechte besitzt. Die Rangfolge präsentiert sich somit gleich wie im Vorjahr. Abbildung 7 zeigt die Resultate im Überblick.

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 2019 die Umwelt am meisten. Sie erzielt 322 UBP pro Kilowattstunde, gefolgt von der **Axpo** mit 317 und der **BKW** mit 280 UBP pro Kilowattstunde. Alpiq und BKW weisen somit im Vergleich zum Vorjahr eine minime Verbesserung auf, was die gesamte Umweltbelastung angeht. Mitinigem Abstand folgt **Repower** mit 187 UBP pro Kilowattstunde, welche ihre Umweltbilanz vor allem wegen der gestiegenen

Gasstromproduktion verschlechtert hat (2018: 178 UBP pro Kilowattstunde). Abbildung 8 zeigt die Resultate im Überblick.

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 Treibhausgas-emittierenden Stromproduktion schwankt bei allen Versorgern, 2019 zeigt sich ein gemischtes Bild. Bei der Axpo und Repower stieg die CO₂-Intensität an, was auf die gestiegene Erdgasverstromung zurückzuführen ist. Die Alpiq verkaufte 2019 seine beiden tschechischen Kohlekraftwerke Kladno und Zlín, was zu einem sinkenden Treibhausgasausstoss führte. Bei der BKW fand im letzten Jahr eine Verschiebung weg von der Kohle hin zu Gas statt. Über die letzten vier Jahre gesehen blieb die Menge der radioaktiven Abfälle in etwa konstant. Bezüglich der gesamthaften Umweltbelastung sind keine eindeutigen Trends erkennbar, 2019 nahm diese leicht ab. Der Grund ist in der tieferen Umweltbelastung durch verminderte Kohle-Stromerzeugung zu finden. Tabelle 5 zeigt die Differenz der Jahresproduktion 2019 zu den Jahren 2018 und 2017.

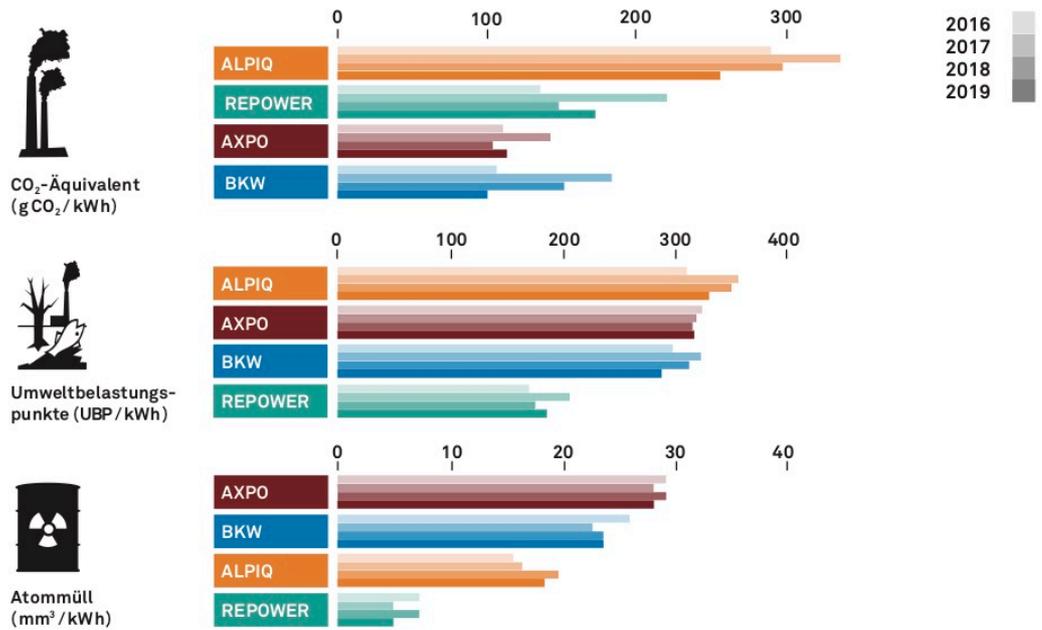
Tabelle 5: Veränderung der Produktion nach Stromerzeugungstechnologie aller untersuchter Stromversorger, angegeben ist die Differenz 2019 zu 2018 sowie 2019 zu 2017.

	Axpo		Alpiq		BKW		Repower	
	Veränderung Produktion 2019 zu 2018 in GWh	Veränderung Produktion 2019 zu 2017 in GWh	Veränderung Produktion 2019 zu 2018 in GWh	Veränderung Produktion 2019 zu 2017 in GWh	Veränderung Produktion 2019 zu 2018 in GWh	Veränderung Produktion 2019 zu 2017 in GWh	Veränderung Produktion 2019 zu 2018 in GWh	Veränderung Produktion 2019 zu 2017 in GWh
Braunkohle	0.0	0.0	-710.8	-795.8	0.0	0.0	0.0	0.0
Steinkohle	0.0	0.0	0.0	0.0	-608.4	-726.4	0.0	0.0
Erdgas	1971.0	903.0	1053.8	262.8	337.0	-58.8	390.3	-420.5
AKW	1024.0	3261.0	115.0	686.0	269.8	295.7	-43.7	-21.6
Wasserkraft	337.0	1798.0	83.0	406.0	355.5	405.9	27.2	71.4
Kleinwasserkraft	0.0	0.0	9.6	-1.7	3.7	64.6	0.0	0.0
Biomasse (MW LW/Holz)	-17.4	-10.7	0.0	0.0	-8.1	-10.5	0.0	0.0
Photovoltaik	0.0	0.0	2.4	18.4	-3.3	0.7	34.2	34.3
Wind	60.4	249.7	12.0	39.2	195.4	331.9	88.8	96.2
Total neue Erneuerbare	43.0	239.0	24.0	56.0	187.7	386.7	122.9	130.4
Total erneuerbarer Strom	380.0	2037.0	107.0	462.0	543.2	792.6	150.2	201.9
Fossiler / nuklearer Strom	2995.0	4164.0	458.0	153.0	-1.6	-489.5	346.5	-442.1
Total Stromproduktion	3375.0	6201.0	565.0	614.9	541.6	303.1	496.7	-240.0

Daten: Eigene Berechnungen.

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.

Abbildung 9: Erzeugte Umweltbelastungspunkte, CO₂-Äquivalente und radioaktive Abfälle der vier grössten Schweizer Stromproduzenten 2016 bis 2019.



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 nuklear geprägten Produktionsmix auf als der Durchschnitt des Schweizer Kraftwerksparks. 2019 setzte sich die Schweizer Stromproduktion gemäss Elektrizitätsstatistik aus 35.2% Atomkraftwerken, 56.4% Wasserkraftwerken (31.8% Speicherkraftwerken, 24.6% Laufwasserkraftwerken), 4.2% diversen erneuerbaren Kraftwerken, 2.6% konventionell-thermischen nicht erneuerbaren Kraftwerken und 1.6% konventionell-thermisch erneuerbaren Kraftwerken zusammen (Bundesamt für Energie 2020). Dies bedeutet eine höhere Klima- und Umweltbelastung durch den Kraftwerkspark der vier grössten Energieversorger, verglichen mit dem inländischen Produktionsmix.

Im Gegensatz zum Vorjahr ist bei den Treibhausgasemissionen durch fossile Kraftwerke ein leichter Rückgang zu verzeichnen. Die Erdgasverstromung stieg zwar an, wurde jedoch durch eine geringere Kohleverstromung kompensiert. Eine Ursache dafür ist der Strompreis, der stark von den Grenzkosten der Stromproduktion in Kohle- und Gaskraftwerken bestimmt wird. Die Grenzkosten wiederum setzen sich hauptsächlich aus den Kosten für die CO₂-Emissionen und den Brennstoffkosten für Kohle und Gas zusammen. Die CO₂-Preise für Emissionszertifikate stiegen im Vergleich zu den Vorjahren auch 2019 weiter an. Nach einer Reform des Emissionshandels 2018 hat sich der Preis von durchschnittlich 5 Euro je Tonne CO₂ im Jahr 2017 auf 15 Euro im Jahr 2018 verdreifacht. Zum Jahresbeginn 2019 bewegte sich der Preis zwischen 20 und 25 Euro je Tonne CO₂ (BMU 2019). Die Kohlepreise sanken im Jahresvergleich (in Euro) um 21%, während die Gaspreise um 34% gefallen sind (Agora 2020). Im Ergebnis wurde die Stromerzeugung aus Kohle (mit höherem CO₂-Ausstoss und höheren Brennstoffkosten) teurer und durch die Stromerzeugung aus Gas (mit geringerem CO₂-Ausstoss und geringeren Brennstoffkosten) verdrängt.

Die Produktion durch neue erneuerbare Kraftwerke nahm auch 2019 zu, verbleibt aber mit 3'630 GWh (5.2%) 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 leicht gestiegen, was auf die bessere Performance der Wasserkraftwerke zurückzuführen ist.

Der Anteil an nuklearer Stromproduktion ist leicht gesunken, während die Produktion leicht zugenommen hat. Das AKW Gösgen lieferte 2019 im Vorjahresvergleich während etwas weniger Stunden Strom ans Netz. Zwei Zwischenfälle zwangen das Kraftwerk zum Herunterfahren, die Reparaturen hatten einen Stromproduktionsausfall von insgesamt 466 Millionen Kilowattstunden zur Folge. Das AKW Leibstadt konnte die Stromproduktion durch die Rückkehr zur vollen elektrischen Bruttoleistung hingegen deutlich erhöhen.

4.2. Ausblick

Im Bereich der nuklearen Stromprodukte wird es 2020 eine deutliche Reduktion geben, denn die BKW hat das AKW Mühleberg Ende 2019 stillgelegt. 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 folglich 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 4 Jahren ebenfalls soweit sein.

Ob ein Ausstieg aus den fossilen und nuklearen Kraftwerken im Ausland erfolgen wird, unterliegt 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,¹⁴ wobei das Gas-Kombikraftwerk in Teverola bei Repower weiterhin einen hohen Stellenwert genießt. Alpiq hat zudem im Bereich Kohle divestiert und seine beiden Kohlekraftwerke Kladno und Zlín in Tschechien im Mai 2019 verkauft,¹⁵ verfügt jedoch nach wie vor über Gaskraftwerke. Die Entwicklung der CO₂-Preise wird einen entscheidenden Einfluss auf die Rentabilität der fossilen Kraftwerke haben. Ganz aktuell markiert der CO₂-Preis gar ein Elf-Monatshoch von nahezu 30 Euro/t CO₂, wie dem Energycharts-Marktbericht¹⁶ zu entnehmen ist. Höhere CO₂-Preise machen die Stromproduktion aus Kohle teurer, die infolgedessen durch Gas verdrängt wird, wie sich am Beispiel der BKW zeigt. Im Bereich der konventionellen fossil-thermischen Kraftwerke ist eine weitere Verschiebung weg von Kohle hin zu Gas absehbar. Dies bleibt jedoch abhängig von der weiteren Entwicklung der Klimapolitik, also den CO₂-Preisen im Emissionshandel.

Gaskraftwerke werden heute deutlich häufiger eingesetzt als Kohle. Aus Klimasicht klingt das gut, der CO₂-Ausstoss der Stromerzeugung wird reduziert. Die vermeintlich bessere Treibhausgasbilanz von Gas ist jedoch mit Vorsicht zu geniessen. Betrachtet man neben den CO₂-Emissionen auch die Methanemissionen, so zeigt sich, dass Erdgas wegen steigender Methanemissionen sogar ähnlich klimaschädlich wie Kohle und Erdöl sein könnte. Einsparungen von CO₂ bei der Verbrennung vor Ort werden durch deutliche Erhöhungen der Methanemissionen in der Gesamtkette erkaufte. Ein Methanmolekül erwärmt die Atmosphäre viel stärker als Kohlendioxid (Energy Watch Group 2019)¹⁷. Ein wirksamer Klimaschutz sollte also nicht auf Gaskraft als Brückentechnologie setzen, sondern vielmehr auf einen raschen Ausbau der erneuerbaren Energien.

Dem Ausbau der erneuerbaren Energien kommt aus Sicht des Klimaschutzes eine Schlüsselrolle zu. Die erneuerbaren Energien müssen die Dekarbonisierung, das heisst der Ersatz der fossilen Energieträger, sicherstellen. Wichtig bei klima- und umweltbezogenen Überlegungen ist, in welche Richtung sich eine Technologie entwickelt. Dabei zeigt sich: Je sauberer der Strommix wird, desto geringer werden die Treibhausgasemissionen von Photovoltaikstrom (siehe auch Kap. 2.4). Der Ausbau erneuerbarer Energien muss entsprechend weiter vorangetrieben werden. Repower hat seinen Ausstieg aus fossilen und nuklearen Energien angekündigt und wird gemäss Strategie ausschliesslich in erneuerbare

¹⁴ Repower-Strategie 2025: https://onlinereport.repower.com/15/ar/de/jahresbericht/strategie_2025.htm

¹⁵ Alpiq 17.05.2019: <https://www.alpiq.com/de/alpiq-gruppe/investoren/ad-hoc-news/ad-hoc-news-detail/alpiq-divestiert-kohlekraftwerke-kladno-und-zlin/>

¹⁶ Energycharts-Marktbericht CO₂: <https://www.energycharts.de/analysen/marketreCAP-10072020-weeklyreview-co2-euas-markieren-11-monatshoch>

¹⁷ Weitere Informationen zu den Messungen über Methanverluste:

<https://theconversation.com/methane-emissions-spike-natural-gas-production-fracking-and-agriculture-is-one-the-main-culprit-121868> & <https://www.biogeosciences.net/16/3033/2019/>

Energien investieren. Die BKW hat verkündet, dass bis 2023 75% der installierten Leistung des BKW Produktionsparks erneuerbar sein soll.¹⁸ Auch die Axpo betont, das Wachstumspotential der neuen Energien nutzen zu wollen, ebenso die Alpiq. Für die Axpo-Neuakquisition von Urbasolar (Photovoltaik) wird im laufenden Geschäftsjahr 2019/2020 erstmals Energieproduktion ausgewiesen.

Der Ausbau der erneuerbaren Energien geschieht jedoch zu langsam, vornehmlich im Ausland und kaum im Inland. Die Energiestrategie 2050 sieht zwar einen verstärkten inländischen Ausbau der erneuerbaren Energien vor. Die jetzigen Instrumente sind jedoch nicht ausreichend. Investitionen in neue Kraftwerke im Inland lohnen sich nach wie vor in vielen Fällen nicht, solange die regulatorischen Rahmenbedingungen sich nicht ändern. Der Grund liegt in den tiefen Erlösen am Strommarkt, mit denen sich neue Anlagen nicht refinanzieren können. Das europäische Ausland schützt neue Kraftwerke mit gesetzlich geschützten Minimalvergütungen, während die Schweiz das Problem der fehlenden Investitionssicherheit bis heute nicht ausreichend gelöst hat. Die Schweizer Stromversorger treiben ihren Ausbau von erneuerbaren Energien entsprechend im Ausland voran. Eine Untersuchung von Energie Zukunft Schweiz zeigt auf, dass Schweizer Energieversorger und Investoren in ausländische, erneuerbare Kraftwerke mit einer Jahresproduktion von 11.5 TWh investiert haben; 2.4 TWh befinden sich aktuell im Bau. Ein Grossteil dieser Kraftwerke steht in den Nachbarländern Deutschland, Italien und Frankreich (Stand: Dezember 2019).¹⁹ Dadurch wird die Auslandabhängigkeit nicht kleiner. Entsprechend ist die Verbesserung der Investitionssicherheit im Inland in der aktuellen Revision des Energiegesetzes²⁰ dringend zu berücksichtigen. Ebenso ist eine Erhöhung der Ausbauziele der erneuerbaren Energien nötig, damit die Schweiz die Klimaziele erreichen kann.

¹⁸ BKW-Medienmitteilung vom 01.07.2019: <https://www.bkw.ch/de/ueber-bkw/medien/detail/green-bond-erfolgreich-platziert>

¹⁹ Energie Zukunft Schweiz 2020: <https://energiezukunftschweiz.ch/wAssets/docs/hkn-neue-energie/EZS-Update-Investitionen-Erneuerbare-2019.pdf>

²⁰ Anfang Juli ist die Vernehmlassung zur Energiegesetzrevision zu Ende gegangen. Die SES fordert darin eine Erhöhung der Ausbauziele auf 70 bis 80 Terawattstunden (erneuerbare Jahresproduktion) bis 2035 sowie eine Sicherstellung der Finanzierung. SES-Medienmitteilung vom 26.05.2020: <https://energiestiftung.ch/medienmitteilung/neues-energiegesetz-jetzt-nicht-zu-zahm-sein.html>

5. Quellen

- Agora Energiewende und Sandbag, *The European Power Sector in 2019. Up-to-date analysis on the electricity transition*, Berlin und London 2020. Verfügbar unter: <https://www.agora-energiewende.de/en/publications/the-european-power-sector-in-2019/> (Letzter Zugriff: 10.07.2020).
- Axpo Holding AG, *Geschäftsbericht 2018/2019*, Baden 2020. Verfügbar unter: <https://www.axpo.com/ch/de/ueber-uns/investor-relations/berichte-und-termine.html> (Letzter Zugriff: 01.07.2020).
- Axpo Holding AG, *Nachhaltigkeitsbericht 2018/2019*, Baden 2020. Verfügbar unter: <https://www.axpo.com/ch/de/ueber-uns/investor-relations/berichte-und-termine.html> (Letzter Zugriff: 01.07.2020).
- Axpo Holding AG, in Rücksprache mit Monika Müller 01.07.2020: Die Prozentsätze, die der Produktion der neuen Energien im Geschäftsjahr 2018/2019 (1335 GWh) zugrunde liegen, entsprechen gemäss Axpo Medien denen des Vorjahres: Wind Onshore 70.11%, Wind Offshore 22.48%, Biomasse 7.41%.
- Alpiq Holding AG, *Geschäftsbericht 2019*, Lausanne 2020. Verfügbar unter: https://www.alpiq.com/fileadmin/user_upload/documents/publications/annual_report/alpiq_annual_report_2019_de.pdf (Letzter Zugriff: 09.07.2020).
- Alpiq Holding AG, in Rücksprache mit Guido Lichtensteiger, 02.07.2020: Gemäss Alpiq Medien beträgt die geschätzte Aufschlüsselung der Produktion der neuen erneuerbaren Energien: Windkraft 83.5%, Kleinwasserkraft 13.2%, PV 3.3%. Die Verteilung Braunkohle/Gas bei den tschechischen Kraftwerken Kladno und Zlin lautet bis zur Veräusserung am 30.08.2019 wie in den vergangenen Jahren 99%/1%.
- Alpiq Holding AG, *Alpiq schliesst Devestition der Kohlekraftwerke Kladno und Zlin ab*, Medienmitteilung, Lausanne 30.08.2019. Verfügbar unter: <https://www.alpiq.com/de/alpiq-gruppe/medien/medienmitteilungen/media-release-detail/alpiq-schliesst-devestition-der-kohlekraftwerke-kladno-und-zlin-ab> (Letzter Zugriff: 09.07.2020).
- 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, *BKW nimmt neues Windkraftwerk in Norwegen in Betrieb*, Medienmitteilung, Bern/Marker 28.03.2019. Verfügbar unter: <https://www.bkw.ch/de/ueber-bkw/medien/detail/bkw-nimmt-neues-windkraftwerk-in-norwegen-in-betrieb> (Letzter Zugriff: 13.07.2020)
- BKW AG, *Geschäftsbericht 2019*, Bern 2020. Verfügbar unter: https://www.bkw.ch/fileadmin/user_upload/4_Ueber_BKW/Investor_Relations/GB19/Gesch%C3%A4ftsbericht_Deutsch.pdf (Letzter Zugriff: 09.07.2020).

Das Kapitel «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: 15.07.2020).
- BKW AG, in Rücksprache mit Sabrina Schellenberg, 09.07.2020: Der Grund für die Zunahme beim Gas und die Abnahme bei der Kohle liegt laut BKW Medien in der Verschiebung der «Merit-Order» der jeweiligen Kraftwerkstechnologie. Dies spiegelt sich auch im Produktionspark der BKW wider.
- BMU, *Klimaschutz in Zahlen: CO2-Bepreisung*, Berlin 2019. Verfügbar unter: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutz_zahlen_2019_fs_co2_bepreisung_de_bf.pdf (Letzter Zugriff: 10.07.2020).
- Bundesamt für Energie, *Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2019*, Bern 2020. Verfügbar unter: <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geodaten/energiestatistiken/elektrizitaetsstatistik.html> (Letzter Zugriff: 09.07.2020).
- Energie Zukunft Schweiz, *Investments in renewable energy production outside Switzerland by Swiss energy providers and institutional investors. Update 2019*, Februar 2020. Verfügbar unter: <https://energiezukunftschweiz.ch/wAssets/docs/news/ezs-update-investitionen-erneuerbare-2019.pdf> (Letzter Zugriff: 10.07.2019).
- EnergyCharts, *MarketRecap: Bullenfalle bei CO2 über der 30-Euro-Marke*, Kaarst 14.07.2020. Verfügbar unter: <https://www.energycharts.de/analysen/marketrecap-14072020-bullenfalle-bei-co2-%C3%BCber-der-30-euro-marke> (Letzter Zugriff: 15.07.2020).
- Energy Watch Group, *Erdgas leistet keinen Beitrag zum Klimaschutz*, Berlin 2019. Verfügbar unter: http://energywatchgroup.org/wp-content/uploads/EWG_Erdgasstudie_2019.pdf (Letzter Zugriff: 14.07.2020)
- Frischknecht R., Itten R., Wyss F., Blanc I., Heath G., Raugei 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: 09.07.2020).
- Howard, R. W.: *Ideas and perspectives: is shale gas a major driver of recent increase in global atmospheric methane?*, Biogeoscience, 16, 3033-3046, 2019. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.5194/bg-16-3033-2019> (Letzter Zugriff: 16.07.2020).
- 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 2019*, Däniken 2020. Verfügbar unter: https://www.kkq.ch/upload/cms/user/gb_2019.pdf (Letzter Zugriff: 15.07.2020).
- Kernkraftwerk Leibstadt AG, *Geschäftsbericht 2019*, Leibstadt 2020. Verfügbar unter: https://www.kkl.ch/fileadmin/seiteninhalt/Dateien/01_Unternehmen/E_Publikationen/Geschäftsberichte/2019_Geschaeftsbericht.pdf (Letzter Zugriff: 15.07.2020).
- Repower AG, *Strategie 2025*, in: *Geschäftsbericht 2015*, 2016. Verfügbar unter: https://onlinereport.repower.com/15/ar/de/jahresbericht/strategie_2025.htm (Letzter Zugriff: 15.07.2020).
- Repower AG, *Geschäftsbericht 2019*, Poschiavo 2020. Verfügbar unter: https://onlinereport.repower.com/19/ar/app/uploads/Repower_GB19_de.pdf (Letzter Zugriff: 09.07.2020).
- 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 USA, 2014. Verfügbar unter: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_annex-iii.pdf (Letzter Zugriff: 09.07.2020).
- 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: 09.07.2020).