
Beschäftigungseffekte des geordneten Atomausstiegs in der Schweiz



Impressum

Auftraggeber:

Schweizerische Energie-Stiftung SES
www.energiestiftung.ch

Projektteam:

Jürg Rohrer, Prof., dipl. Ing. ETH (Projektleiter)
Nadia Sperr, MSc. ETH Umweltnaturwissenschaften
Valentin Stahel, BSc. Umweltingenieurwesen ZFH

Forschungsgruppe Erneuerbare Energien
ZHAW Wädenswil
www.zhaw.ch/iunr/erneuerbareenergien/

Wädenswil, 1. November 2016

Kontakt:

Jürg Rohrer
Campus Grüental
8820 Wädenswil

Tel.: +41 58 934 54 33
Mail: juerg.rohrer@zhaw.ch

Titelbilder:

KKW Leibstadt:
Wasserkraftwerk Nant de Drance:
PV-Module:
Holzschnitzel:
Windkraftwerk Juvent:

Kernkraftwerk Leibstadt AG (n.d.)
Alpiq (2013)
nachhaltig leben (n.d.)
Forstbetrieb Winterthur (n.d.)
Juvent SA (2016)

Zusammenfassung

Die politische Diskussion über die zukünftige Stromproduktion in der Schweiz ist in vollem Gange. Zum einen sollen bei einer Annahme der Eidgenössischen Volksinitiative „Für den geordneten Ausstieg aus der Atomenergie (Atomausstiegsinitiative)“ die Schweizer KKW bis im Jahr 2029 vom Netz genommen werden. Gleichzeitig ist ein Referendum gegen das 1. Massnahmenpaket der Energiestrategie 2050 geplant, in welchem unter anderem Richtwerte für den Ausbau der erneuerbaren Energien bis im Jahr 2035 enthalten sind. Ein wichtiges Argument auf der Pro- und Kontra-Seite sind die entstehenden beziehungsweise wegfallenden Arbeitsplätze.

In dieser Studie wurden drei Szenarien für das Jahr 2030 definiert, welche die Entstehung und das Wegfallen von Arbeitsplätzen bei einer Annahme der Atomausstiegsinitiative (AAI) oder der Umsetzung des 1. Massnahmenpakets der Energiestrategie 2050 zeigen.

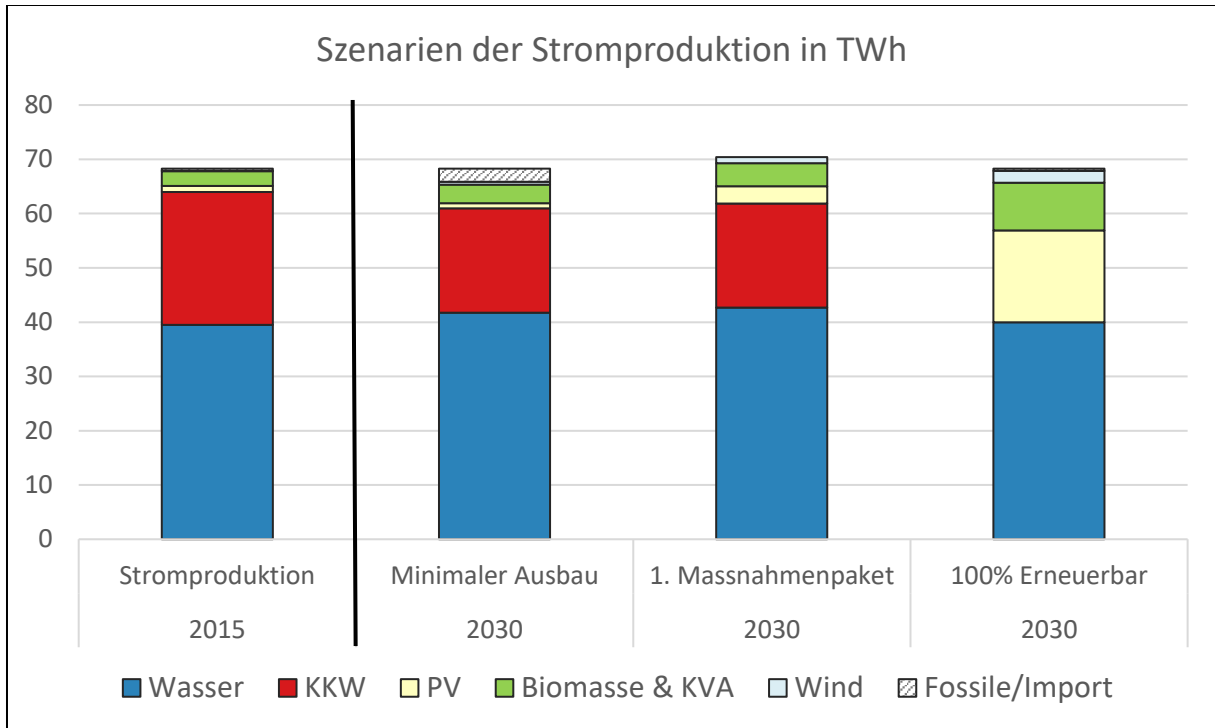
Im Szenario „Minimaler Ausbau“ wird weder die Energiestrategie noch die Atomausstiegsinitiative umgesetzt. Der Ausbau der erneuerbaren Energien ist sehr gering, am stärksten wird die Produktion durch Wasserkraft erhöht. Dies entspricht im Wesentlichen einer Fortsetzung des aktuellen Zustandes, basierend auf dem Szenario «WWB weiter wie bisher, Variante C» in den «Energieperspektiven 2050» der Firma Prognos. Dabei wurde allerdings die geschätzte Laufzeit der KKW von 50 auf 60 Jahre erhöht.

Beim Szenario „1. Massnahmenpaket“ wird angenommen, dass nur das 1. Massnahmenpaket der Energiestrategie 2050 des Bundes umgesetzt wird. Dabei wird die Wasserkraft ausgebaut. Auch Strom aus PV-Anlagen und aus Biomasse machen einen zunehmenden Teil an der Produktion aus. Trotzdem ist der Anteil der neuen erneuerbaren Energien bis 2030 an der Gesamtstromproduktion mit 11% noch gering. Grundlage ist das Szenario „Politische Massnahmen (POM) Sensitivität 1“ in den Energieperspektiven 2050, wobei auch hier u.a. die geschätzte Laufzeit der KKW von 50 auf 60 Jahre erhöht wurde.

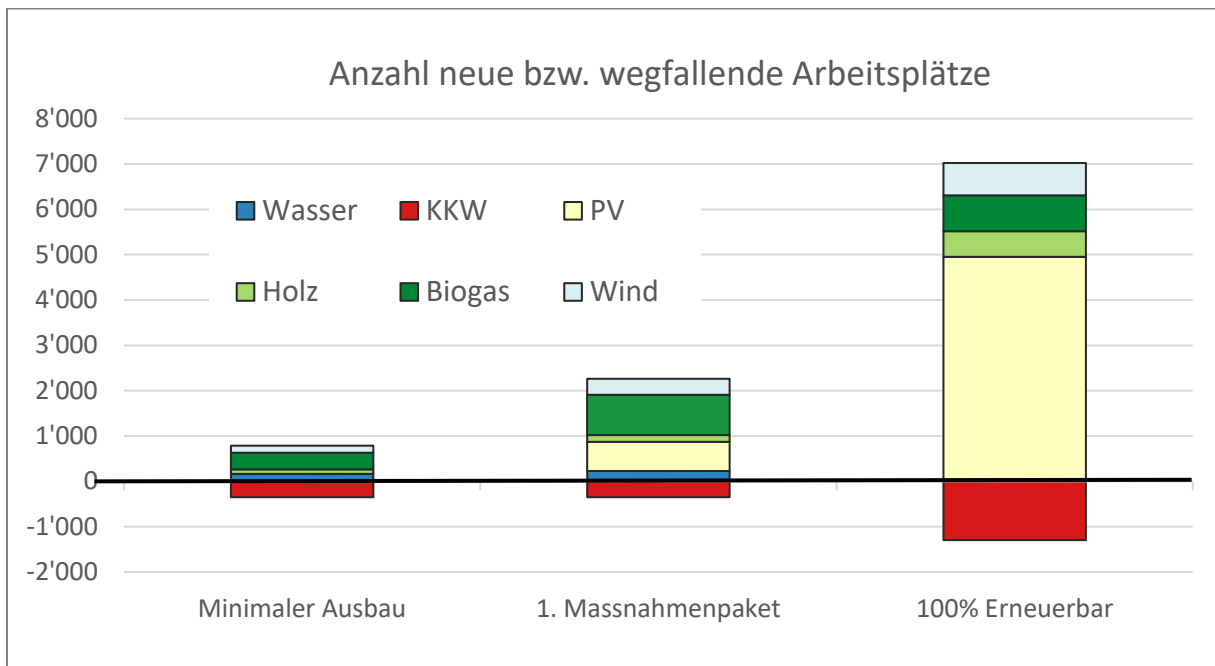
Im Szenario „100% Erneuerbar“ wird die AAI angenommen und der gesamte Strom aus KKW bis 2030 durch erneuerbare Energie ersetzt. Die Grundlage dazu bildet der Strommix „100% einheimisch erneuerbar effizient“ der Umweltallianz. Auffällig ist der grosse Ausbau der Stromproduktion mit Sonne und Biomasse. Die Zusammensetzung der Stromproduktion im Jahr 2015 und für die oben erwähnten drei Szenarien im Jahr 2030 ist in der Graphik auf der nächsten Seite dargestellt.

Der Zubau von erneuerbaren Energien in den nächsten 15 Jahren diene als Grundlage, um den Beschäftigungseffekt der drei Szenarien zu berechnen. Da die erneuerbaren Energien in allen drei Szenarien unterschiedlich stark ausgebaut werden, entstehen unterschiedlich hohe Beschäftigungseffekte. Zudem entsteht durch die Ausserbetriebnahme der KKW ein Beschäftigungsrückgang, welcher auch berücksichtigt wird. Wichtig dabei ist, dass die Stellen zum Betrieb der KKW früher oder später so oder so wegfallen werden. Durch eine Annahme der Atomausstiegsinitiative würde deshalb nur der Zeitpunkt des Stellenabbaus verschoben.

Wird der gesamte KKW-Strom bis im Jahr 2030 vollständig durch erneuerbare Energien ersetzt (Szenario 100% Erneuerbar), so entstehen unter Berücksichtigung der wegfallenden Stellen in den KKW netto 6'000 neue Arbeitsplätze. Bei Ablehnung der Atomausstiegsinitiative und Umsetzung des 1. Massnahmenpakets der Energiestrategie 2050 (Szenario 1. Massnahmenpaket) werden netto ca. 2'000 neue Stellen geschaffen. Wenn hingegen auch die Energiestrategie vom Volk abgelehnt werden sollte (Szenario Minimaler Ausbau), kann noch mit ca. 500 neuen Stellen gerechnet werden. Mit Abstand am meisten neue Stellen werden durch den Ausbau der Photovoltaik geschaffen, wobei diese aufgrund ihres grossen Potentials auch am stärksten ausgebaut werden soll.

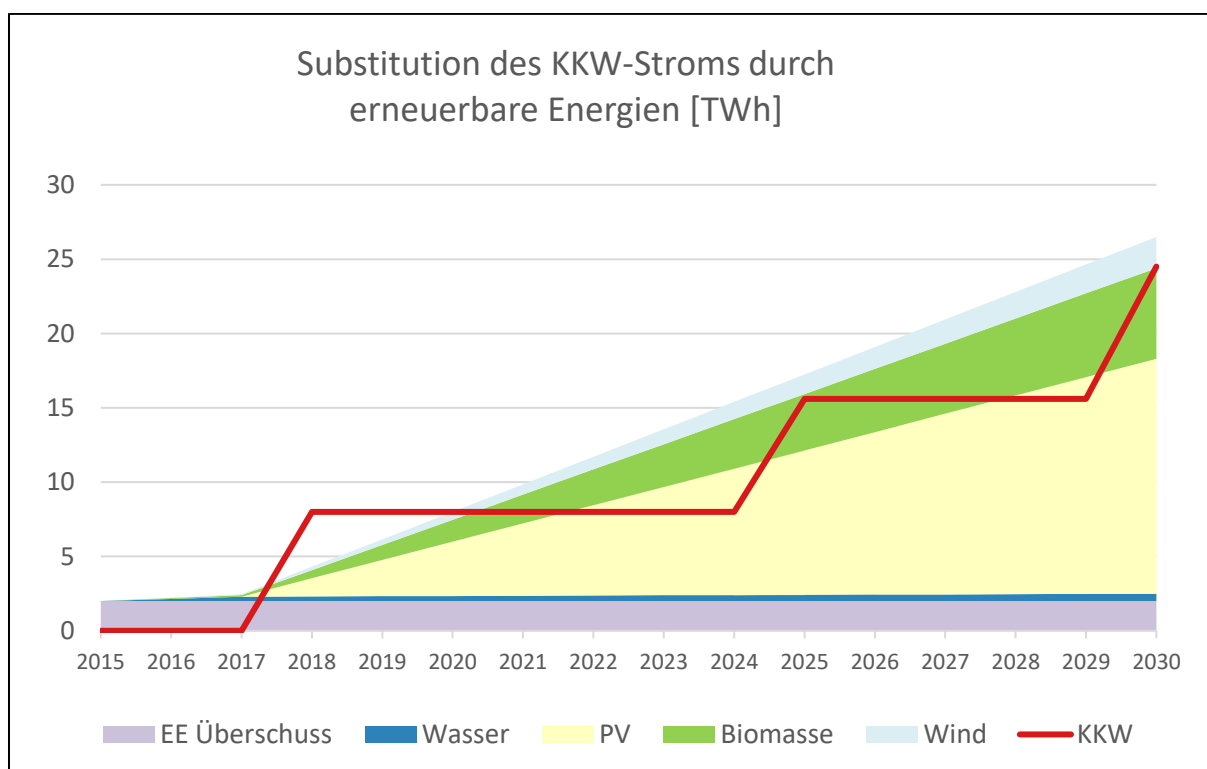


Die resultierenden Effekte auf die Arbeitsplätze sind in der nachfolgenden Graphik dargestellt.



Obwohl der starke Ausbau der Photovoltaik auf den ersten Blick sehr ambitioniert erscheint, wird beim vollständigen Ersatz des Atomstroms durch Strom aus erneuerbaren Energien (Szenario 100% Erneuerbar) nur rund zwei Drittel des bereits heute bestehenden Potentials an geeigneten Dachflächen in der Schweiz ausgenutzt.

Der zeitliche Verlauf des Zubaus von erneuerbaren Energien und die Substitution des KKW-Stroms mit den Abschaltzeiten aus der AAI wurde ebenfalls betrachtet. Dabei wurde angenommen, dass ein starker Ausbau der erneuerbaren Energien erst im Jahr 2017 nach einer Annahme der AAI stattfindet. Davor wurde von einem Zubau wie beim Szenario „Minimaler Ausbau“ ausgegangen. Zusätzlich zu der Stromproduktion aus neu installierten Anlagen wurde auch der Stromproduktions-Überschuss der Schweiz in den letzten Jahren zur Substitution des KKW-Stroms angerechnet. Dadurch müsste bei Annahme der AAI und Realisierung des Szenarios „100% Erneuerbar“ zwischen 2017 und 2020 etwa 4 bis 5% des Strombedarfes importiert werden. In den folgenden 10 Jahren könnte aber jeweils Strom exportiert werden und der Strom der KKW Gösgen und Leibstadt könnte beim Ausschalten im Jahre 2024 bzw. 2029 sofort durch Erneuerbare substituiert werden. Eine Übersicht dazu befindet sich in der untenstehenden Graphik. Die farbigen Flächen zeigen den linearen Zubau der erneuerbaren Energien nach dem Szenario „100% Erneuerbar“ und die rote Linie zeigt den KKW-Strom, der bei einer Annahme der AAI wegfallen wird.



Inhaltsverzeichnis

Impressum.....	II
Zusammenfassung.....	III
1 Einleitung.....	1
2 Beschreibung der Szenarien.....	2
2.1 Grundlagen der Szenarien.....	2
2.2 Stromproduktion im Jahr 2015.....	3
2.3 Szenario „Minimaler Ausbau“.....	4
2.4 Szenario „1. Massnahmenpaket“.....	5
2.5 Szenario „100% Erneuerbar“.....	6
2.6 Vergleich der drei Szenarien.....	8
3 Berechnung der Beschäftigungsfaktoren.....	9
3.1 Beschäftigungsfaktoren beim Zubau von PV-Anlagen.....	9
3.1.1 Kostenreduktion bei PV-Anlagen.....	11
3.2 Beschäftigungsfaktor beim Zubau von Windanlagen.....	12
3.3 Beschäftigungsfaktoren Biomasse.....	12
3.4 Beschäftigungsfaktor beim Zubau von Wasserkraft.....	14
4 Beschäftigungsrückgang bei Schweizer KKW.....	15
4.1 Beschäftigungsrückgang bei einer KKW Laufzeit von 60 Jahren.....	16
4.2 Beschäftigungsrückgang bei einer KKW Laufzeit von 45 Jahren.....	17
5 Beschäftigungseffekte der drei Szenarien.....	19
5.1 Beschäftigungseffekt bei sinkenden Preisen für PV-Anlagen.....	20
6 Diskussion.....	22
7 Quellenverzeichnis.....	25
8 Abbildungs- Tabellen- und Formelverzeichnis.....	29

1 Einleitung

Die Schweizer Stromproduktion besteht zu 60% aus Wasserkraft und zu einem Drittel aus Atomstrom (BFE, 2016c). Die restliche Stromproduktion wird durch neue erneuerbare Energien (Sonne, Wind und Biomasse) und konventionell thermische Anlagen generiert. Damit hat die Schweiz in ihrer Stromerzeugung nicht nur einen hohen Anteil an Wasserkraft, sondern auch einen vergleichsweise hohen Anteil an Strom aus Kernkraftwerken (KKW) (kernenergie, 2014). Um dies zu ändern, reichte die Grüne Partei Schweiz im Jahr 2013 die Eidgenössische Volksinitiative „Für den geordneten Ausstieg aus der Atomenergie (Atomausstiegsinitiative)“ ein. Die Initiative sieht eine Begrenzung der Betriebsdauer von KKW auf maximal 45 Jahre vor. Einzige Ausnahme ist das KKW Beznau I, welches bereits 47 Jahre in Betrieb ist. Deshalb soll Beznau I ein Jahr nach Annahme der Initiative vom Netz genommen werden.

Wird die Atomausstiegsinitiative am 27. November 2016 vom Volk angenommen, müssten die fünf Schweizer KKW bis im Jahr 2029, abhängig von ihrer Betriebsdauer, vom Netz genommen werden (Schweizerische Eidgenossenschaft, 2016). Um die wegfallende Stromproduktion zu decken, schlagen die Initianten einen starken Ausbau der erneuerbaren Energien sowie die Durchführung von Energie-Effizienzmassnahmen vor (Grüne Partei Schweiz, n.d.).

Zusätzlich zur Atomausstiegsinitiative ist auch ein Referendum gegen das 1. Massnahmenpaket der Energiestrategie 2050 möglich (SVP, 2016b). Ob dieses zustande kommt, ist noch nicht absehbar, die Unterschriftensammlung wurde gerade erst gestartet. Ein wichtiger Punkt des 1. Massnahmenpakets sind die Richtwerte für den Ausbau der neuen erneuerbaren Energien bis im Jahr 2035. In der Herbstsession haben sich der National- und Ständerat darauf geeinigt, diese auf 11.4 TWh pro Jahr festzusetzen (BFE, 2016b).

Bei beiden politischen Entscheiden werden auch die Auswirkungen auf die Arbeitsplätze in der Schweiz diskutiert. Bei der Atomausstiegsinitiative sind es die Befürworter, welche in ihren Pro-Argumenten die Schaffung von neuen, dauerhaften Arbeitsplätzen aufführen (Schweizerische Eidgenossenschaft, 2016). Bei der Energiestrategie gehen die Meinungen auseinander, ob am Schluss Arbeitsplätze neu dazu kommen, oder wegfallen (Schweizer Wirtschaft für die Energiestrategie 2050, n.d.; SVP, 2016a).

Mit dieser Studie soll aufgezeigt werden, wie sich die Beschäftigung im Energiesektor durch das 1. Massnahmenpaket der Energiestrategie 2050 und/oder der Annahme der Atomausstiegsinitiative verändern werden. Dabei liegt der Fokus einzig auf der Stromproduktion in der Schweiz. Eine erneuerbare Wärmeproduktion und die Senkung des Energieverbrauchs durch Effizienz-Massnahmen sind nicht Teil dieser Studie.

Als erstes werden zur Abschätzung der Beschäftigungsauswirkungen drei Szenarien erstellt, welche eine mögliche Stromproduktion im Jahr 2030 abbilden. Diese drei Szenarien sollen die Entwicklung mit und ohne Umsetzung des 1. Massnahmenpakets der Energiestrategie, sowie eine Annahme der Atomausstiegsinitiative mit sehr starkem Ausbau der erneuerbaren Energien zeigen. Zu diesem Zweck werden Beschäftigungsfaktoren für die Energieträger Wasser, Wind, Sonne und Biomasse definiert. Diese erlauben es, aufgrund des Zubaus von erneuerbaren Energien Rückschlüsse auf die Beschäftigungseffekte für jedes Szenario zu ziehen. Zusätzlich wird jeweils auch der Stellenabbau bei Schweizer KKW berücksichtigt, welcher durch die Abschaltung der KKW entsteht. Dabei wird auch der Personalaufwand für den Rückbau der KKW, welcher kurzfristig den Stellenabbau vermindert, miteinbezogen.

2 Beschreibung der Szenarien

Um den Beschäftigungseffekt durch den Zubau von erneuerbaren Energien in der Schweiz abschätzen zu können, müssen zuerst Szenarien erstellt werden, die den Zu- und Abbau von verschiedenen Energieträgern in den nächsten Jahren in der Schweiz beschreiben. Wie diese erstellt wurden und welche Annahmen eingeflossen sind, ist in diesem Kapitel beschrieben.

2.1 Grundlagen der Szenarien

Als Grundlage für die Erstellung der Szenarien werden die aktuellen politischen Diskussionen zur Energiezukunft der Schweiz herangezogen. Zum einen wird am 27.11.2016 über die Eidgenössische Volksinitiative „Für den geordneten Ausstieg aus der Atomenergie (Atomausstiegsinitiative)“ abgestimmt (Schweizerische Eidgenossenschaft, 2016). Wird diese angenommen, würden bis im Jahr 2029 alle Schweizer KKW ihre Stromproduktion einstellen. Der wegfallende KKW-Strom müsste substituiert werden. Daraus wird das Szenario mit dem Namen „100% Erneuerbar“ abgeleitet. Es entspricht einem Best-Case Szenario für den Ausbau der erneuerbaren Energien, welches einen möglichen Ausbau der erneuerbaren Energien zur kompletten Substitution des KKW-Stroms bis im Jahr 2030 zeigen soll. Unter dem Begriff erneuerbare Energien sind in diesem Bericht Wasser-, Solar- und Windkraft sowie Strom aus Biomasse gemeint. Die Geothermie wird nicht berücksichtigt, da es zum heutigen Zeitpunkt fraglich scheint, ob die Technologie bis im Jahr 2030 schon marktreif ist und einen nennenswerten Beitrag zur Stromproduktion leisten kann (vgl. Schweizerische Vereinigung für Geothermie, n.d.).

Auch das 1. Massnahmenpaket der Energiestrategie 2050 führt zu Diskussionen. Mit dem geplanten Referendum der SVP (SVP, 2016b), ist die Umsetzung noch unsicher. Deshalb wird je ein Szenario für den Zubau von erneuerbaren Energien bei einer Umsetzung und bei einer Ablehnung des 1. Massnahmenpakets der Energiestrategie 2050 gebildet. Die Szenarien werden „1. Massnahmenpaket“ bzw. „Minimaler Ausbau“ genannt. Um sie mit dem Szenario „100% Erneuerbar“ vergleichen zu können, wird auch in diesen Szenarien der mögliche Strommix für das Jahr 2030 dargestellt. Für alle drei Szenarien wurden bereits vorhandene Szenarien für die Stromproduktion im Jahr 2030 oder 2035 verwendet, welche an die heutigen Gegebenheiten angepasst wurden. In Tabelle 1 ist für jedes neu erstellte Szenario das zugrundeliegende Szenario (Grundszenario) aufgeführt. Die Grundszenarien für den „Minimalen Ausbau“ und das „1. Massnahmenpaket“ wurden so gewählt, weil sie speziell für die Wirkungsabschätzung der Energiestrategie 2050 entwickelt wurden (Prognos, 2012a). Das Grundszenario für die Umsetzung des 1. Massnahmenpakets diente auch dem Bundesrat für die Festlegung der Richtwerte zum Ausbau von erneuerbaren Energien (Der Schweizerische Bundesrat, 2013).

Tabelle 1: Übersicht über die Grundlagen der drei erstellten Szenarien

<i>Szenario</i>	<i>Grundszenario</i>	<i>Quelle</i>
<i>Minimaler Ausbau</i>	Weiter Wie Bisher (WWB) Variante C	(Prognos, 2012a)
<i>1. Massnahmenpaket</i>	Politische Massnahmen (POM) Sensitivität 1	(Prognos, 2013)
<i>100% Erneuerbar</i>	100% einheimisch erneuerbar effizient	(Umweltallianz, 2012)

Um von dem jeweiligen Strommix im Jahr 2030 auf den nötigen Zubau zu schliessen, wurden die neusten Stromproduktions-Zahlen aus dem Jahr 2015 hinzugezogen. Dieses Vorgehen wird im Unterkapitel 2.2 vorgestellt. In den darauffolgenden Unterkapiteln 2.3 bis 2.5 werden die drei angesprochenen Szenarien erstellt. Der Unterschied zwischen der Produktion im Jahr 2015 und dem Jahr 2030 zeigt bei

welchen Energieträgern die Stromproduktion wie stark zu- beziehungsweise abgebaut wird. Es wurde dabei angenommen, dass die jährliche Stromproduktion in der Schweiz im Jahr 2030 gleich hoch sein wird wie im Jahr 2015. Eine Veränderung der benötigten Stromproduktion wird nicht berücksichtigt. Diese Annahmen für das Jahr 2030 deckt sich mit den Prognosen für den Stromverbrauch von Prognos (2012a) und der Umweltallianz (2012), welche zum Teil sogar mit abnehmendem Gesamtstromverbrauch rechnen. In den folgenden Abschnitten wird die Zusammenstellung des Strommixes für das Jahr 2015, sowie für die drei Szenarien beschrieben.

2.2 Stromproduktion im Jahr 2015

Die Zahlen für die Stromproduktion der Schweiz im Jahr 2015 wurden aus der Schweizer Energiestatistik 2015 (BFE, 2016c) und aus der Schweizerischen Statistik der erneuerbaren Energien (BFE, 2016d) übernommen. Insgesamt wurden in der Schweiz im Jahr 2015 66 TWh Elektrizität produziert (BFE, 2016c). Knapp 60% (39.5 TWh) stammen dabei aus Wasserkraftwerken. Weitere 22.1 TWh wurden durch KKW produziert. Die restlichen 4.4 TWh stammen aus konventionell thermischen Anlagen und erneuerbaren Energien.

Die Elektrizitätsproduktion der neuen erneuerbaren Energien Sonne, Wind und Biomasse betrug im Jahr 2015 2.8 TWh (BFE, 2016d). Der grösste Teil der Produktion stammt dabei aus Biomasse-Anlagen (1.6 TWh). Unter diesem Sammelbegriff ist die Stromproduktion aus Biogas, Holz, Abfall und Abwasserreinigungsanlagen (ARA) zusammengefasst. Zusätzlich zu dem erneuerbaren Anteil wird auch der nicht erneuerbare Anteil der Stromproduktion von Kehrlichtverbrennungsanlagen angerechnet, damit ein Vergleich mit dem Szenario „100% Erneuerbar“ möglich ist. Am zweitmeisten Strom wurde durch PV-Anlagen erzeugt (1.1 TWh). Strom aus Windanlagen spielte mit 0.1 TWh hingegen nur eine untergeordnete Rolle.

Die restlichen 1.6 TWh Strom wurden durch konventionell thermische Anlagen produziert. Grösstenteils entfällt diese Produktion auf die nicht erneuerbare Stromproduktion aus KVA (1.2 TWh). Die Aufteilung der Stromproduktion auf die verschiedenen Energieträger und Produktionstechnologien ist in Abbildung 1 ersichtlich. Alle Teilkategorien, welche der Stromproduktion aus Biomasse angerechnet werden, sind dabei grün eingefärbt.

Die Stromproduktion der Schweiz im Jahr 2015 wurde zu einem grossen Teil ohne Anpassungen übernommen. Einzig bei der Stromproduktion durch KKW wurde anstatt der Produktion im Jahr 2015 ein Durchschnitt der letzten 5 Jahre verwendet. Dies erschien sinnvoll, da die KKW im Jahr 2015 im Vergleich zu früheren Jahren eine sehr tiefe Stromproduktion aufwiesen. Die KKW Beznau I und II sowie Leibstadt standen über längere Zeit still und konnten nicht die geplante Menge Strom produzieren (BFE, 2016c). Bei einer Rechnung anhand der Stromproduktion der KKW aus dem Jahr 2015 würde die Stromproduktion der KKW somit unterschätzt. Deshalb wurde die durchschnittliche Produktion für die Jahre 2011 bis 2015 von 24.5 TWh eingesetzt (BFE, 2016c, p. 13). Diese liegt somit ca. 2.5 TWh höher als die tatsächliche Produktion der KKW im Jahr 2015. Total ergibt sich dadurch eine Produktion von 68.3 TWh. Dies entspricht nicht der exakt tatsächlichen Produktion im Jahr 2015, trotzdem wird sie im Folgenden „Stromproduktion 2015“ genannt.

Obwohl die Schweizer KKW im Jahr 2015 vergleichsweise wenig Strom produzierten, exportierte die Schweiz in diesem Jahr netto 1 TWh Strom. In den Jahren davor betrug der Exportüberschuss bis zu 5.5 TWh (BFE, 2016c). Um eine ausgeglichene Jahresbilanz in der Stromproduktion zu erhalten, wäre demnach keine vollständige Substitution des KKW-Stroms notwendig. Für das Szenario „100% Erneuerbar“ ist das Ziel jedoch die Substitution des gesamten KKW-Stroms (24.5 TWh pro Jahr).

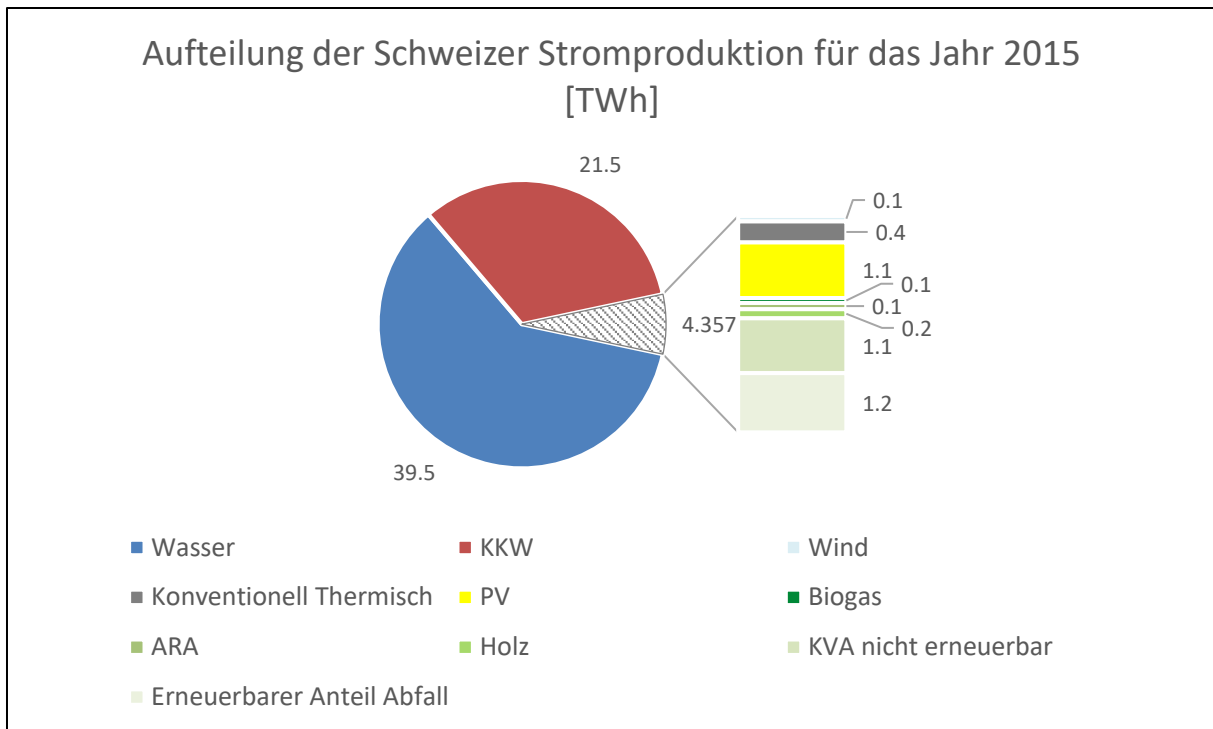


Abbildung 1: Tatsächliche Stromproduktion der Schweiz im Jahr 2015

2.3 Szenario „Minimaler Ausbau“

Beim Szenario „Minimaler Ausbau“ wird dargestellt, wie der Ausbau der erneuerbaren Energieproduktion bis im Jahr 2030 aussieht, wenn weder die Energiestrategie 2050 noch die Atomausstiegsinitiative (AAI) umgesetzt werden. Dazu wurde die Stromproduktion für das Jahr 2030 aus dem Szenario „Weiter Wie bisher Variante C“ von Prognos (2012b, S. 19) übernommen. Angepasst wurde nur die Stromproduktion durch KKW. Prognos (2012b) sieht eine Abschaltung der KKW nach jeweils 50 Betriebsjahren vor. Da es in der Schweiz keine fixe Laufzeitbeschränkung gibt, ist fraglich, ob diese tatsächlich nach 50 Jahren Betriebsdauer vom Netz genommen werden. Der damalige Chef der Axpo, Heinz Karrer, sprach von einer Laufzeit von 60 Jahren für Beznau I, dem ältesten KKW der Schweiz (Honegger, 2013; Scruzzi, 2013). Deswegen wird für diese Studie die Laufzeit aller KKW von 50 auf 60 Jahre erhöht. Ausgenommen davon ist das KKW Mühleberg, welches im Jahr 2019 durch die BKW vom Netz genommen wird (BKW Energie AG, 2016). Somit ergeben sich die in der Tabelle 2 aufgeführten Ausschalt-Zeitpunkte.

Tabelle 2: Inbetriebnahme, Abschaltzeiten im Szenario „Minimaler Ausbau“ und Produktion der 5 Schweizer KKW

	Inbetriebnahme ¹⁾	Abschaltjahr nach AAI ²⁾	60 Jahre Betriebsdauer	Ø Produktion ³⁾
Beznau I	1969	2017	2029	2.4 TWh
Beznau II	1972	2017	2032	2.7 TWh
Mühleberg	1972	2017	2019	2.9 TWh
Gösgen	1979	2024	2039	7.6 TWh
Leibstadt	1984	2029	2044	9 TWh

1) Jahr der Inbetriebnahme gemäss ENSI (2016)

2) Aus den Erläuterungen zur Initiative (Grüne Partei Schweiz, n.d.)

3) 5-Jahres Durchschnitt aus der Schweizer Elektrizitätsstatistik (BFE, 2016c, p. 22)

Die veränderten Laufzeiten führen dazu, dass im Jahr 2030 mehr Strom aus KKW produziert wird, als im Grundlagen-Szenario von Prognos (2012a). Deshalb wurde die Produktion im Jahr 2030 neu abgeschätzt. Dazu wurde vom 5-Jahres Durchschnitt der Produktion aller KKW die Produktion der KKW abgezogen, welche sich im Jahr 2030 nicht mehr im Leistungsbetrieb befinden werden. Bei einer Betriebsdauer von 60 Jahren sind dies die KKW Mühleberg und Beznau I.

Mit der Annahme einer KKW-Laufzeit von 60 Jahren beläuft sich die Stromproduktion aus KKW im Szenario „Minimaler Ausbau“ im Jahr 2030 auf 19.2 TWh. Eine genau Aufteilung der Produktion ist in Tabelle 3 dargestellt. Da in diesem Szenario der Zubau von erneuerbaren Energien den Rückgang der KKW-Produktion nicht kompensieren kann, müsste ein Teil des Schweizer Stroms entweder durch fossile Kraftwerke oder durch Importe gedeckt werden.

Die Produktion im Jahr 2030 ist für alle Szenarien in Abbildung 3 dargestellt. Diese befindet sich im Unterkapitel 2.6, in welchem die drei Szenarien miteinander verglichen werden.

Tabelle 3: Stromproduktion im Szenario „Minimaler Ausbau“

	„Weiter Wie Bisher“ [TWh] ¹⁾	„Minimaler Ausbau“ [TWh]
Wasser	41.8	41.8
KKW	8.8	19.2
PV	1.0	1.0
Wind	0.6	0.6
Biomasse	3.4	3.4
Fossil/Import	15.3	2.4
Total	70.9	68.3

1) Zahlen aus Prognos (2012b)

2.4 Szenario „1. Massnahmenpaket“

Das Szenario „1. Massnahmenpaket“ bildet die Entwicklung der Schweizer Energieproduktion für das Jahr 2030 bei der Umsetzung des 1. Massnahmenpaketes der Energiestrategie 2050 und einer Ablehnung der AAI ab. Für das Szenario „1. Massnahmenpaket“ wurde das Szenario POM von Prognos (2013) als Grundlage verwendet. In diesem Szenario von Prognos ist eine Anpassung der PV-Produktion aufgrund des starken Ausbaus in den Jahren 2010 bis 2012 enthalten. Diese Variante für den stärkeren Ausbau wird von Prognos (2013) Sensitivität 1 genannt. Anders als für das Szenario „Minimaler Ausbau“ wurden nicht nur die Produktionswerte für die KKW angepasst, sondern auch die Produktion aus neuen erneuerbaren Energien. Dies war notwendig, da der National- und Ständerat sich in der Herbstsession 2016 auf tiefere Richtwerte als vom Bundesrat vorgeschlagen, einigten (BFE, 2016b). Diese tieferen Werte wurden einerseits mit der neuen Sunset-Klausel begründet, welche die Laufzeit der kostendeckenden Einspeisevergütung des Bundes (KEV) verkürzt und andererseits mit der Einigung, dass 0.2 Rappen des Netzzuschlags für die Förderung der bestehenden Wasserkraft verwendet werden und nicht für den Ausbau der erneuerbaren Energien (Das Schweizer Parlament, 2015). Der National- und Ständerat hat mit dieser Begründung den Richtwert für die Stromproduktion aus neuen erneuerbaren Energien für das Jahr 2035 von 14.5 TWh auf 11.4 TWh gesenkt. Dies entspricht einer Reduktion um 21%. Analog wurde im Szenario „1. Massnahmenpaket“ die Produktion der neuen erneuerbaren Energien im Jahr 2030 gegenüber dem Grundlagenszenario von Prognos (2013) auch um 21% gesenkt.

Die Stromproduktion aus dem Grundlagenszenario sowie die im Szenario „1. Massnahmenpaket“ eingesetzte Produktion sind in Tabelle 4 aufgeführt. Bei einer Reduktion der neuen erneuerbaren

Stromproduktion im Jahr 2030 um rund 21% gegenüber den Werten in der Prognos-Studie bleibt eine Produktion von 8.1 TWh. Davon stammen 0.62 TWh aus Geothermie, welche in dieser Arbeit nicht berücksichtigt werden. Die Stromproduktion aus Sonne, Wind und Biomasse inklusive dem nicht erneuerbaren Anteil aus KVA von 1.1 TWh beträgt schlussendlich 8.6 TWh.

Table 4: Stromproduktion aus erneuerbaren Energien für das Szenario „1. Massnahmenpaket“

	„POM Sensitivität 1“ [TWh] ¹⁾	„1. Massnahmenpaket“ [TWh]
Wasser	42.7	42.7
KKW	8.8	19.2
PV	4.0	3.2
Wind	1.5	1.1
Biomasse	5.4	4.3
Total	62.4	70.4

1) Zahlen aus Prognos (2013)

In diesem Szenario würde die Schweiz aufgrund des Ausbaus der erneuerbaren Energien und der angenommenen KKW-Laufzeit von 60 Jahren 2 TWh mehr produzieren als im Jahr 2015. Die Produktion wird in Abbildung 3 graphisch dargestellt.

2.5 Szenario „100% Erneuerbar“

Das Szenario „100% Erneuerbar“ soll aufzeigen, wie der Strommix der Schweiz im Jahr 2030 aussehen könnte, wenn der gesamte KKW-Strom durch erneuerbare Energien ersetzt wird. Als Grundlage für den Zubau von erneuerbaren Energien bei einer Annahme der AAI wurde der Strommix der Umweltallianz: 100 Prozent einheimisch erneuerbar effizient (Umweltallianz, 2012), verwendet. Die Aufteilung auf die Energieträger Sonne, Wind, Biomasse und Wasser wurde gegenüber der oben erwähnten Grundlage der Umweltallianz leicht an die heutige Situation angepasst.

Um den prozentualen Anteil der vier Energieträger Wasser, Sonne, Wind und Biomasse beim Zubau von erneuerbaren Energien zu bestimmen, wurde die Produktion durch PV-Anlagen und Biomasse aus dem Infolyer der Umweltallianz (2012) übernommen. Die Stromproduktion durch Wind und Wasser wurde hingegen angepasst.

Die Stromproduktion durch Windanlagen wurde an die verbesserte Technologie angepasst. Die Anzahl der Anlagen bleibt gleich, die durchschnittliche installierte Leistung für neue Anlage wird jedoch auf 3 MW erhöht (vgl. suisse-éole, 2016). Abbildung 1 zeigt die Entwicklung der Grösse und Leistung von deutschen onshore Anlagen. Sie zeigt, dass neue Windturbinen im Jahr 2015 schon eine Leistung von 2.7 MW erreichten. Da im Jahr 2015 bereits 34 Anlagen realisiert waren (suisse-éole, 2016), werden in diesem Szenario bis 2030 noch 366 neue Anlagen zugebaut. Diese total 400 Windkraftanlagen entsprechen der Anzahl, die die Umweltallianz (2012) für die Schweiz abgeschätzt hat. Um von der installierten Leistung auf die produzierte Strommenge zu schliessen, wird mit 1'700 Volllaststunden gerechnet, was in etwa dem Schweizerischen Durchschnitt entspricht (Lüthi, 2014). Dies ergibt eine Stromproduktion von 1.9 TWh durch neue Windkraftanlagen. Dieser Wert für die Stromproduktion aus Windanlagen ist eine eher konservative Schätzung. Bestehende Windkraftanlagen im Kanton Wallis weisen zum Teil deutlich höhere Volllaststunden von über 2'000 Stunden auf (Lüthi, 2014).

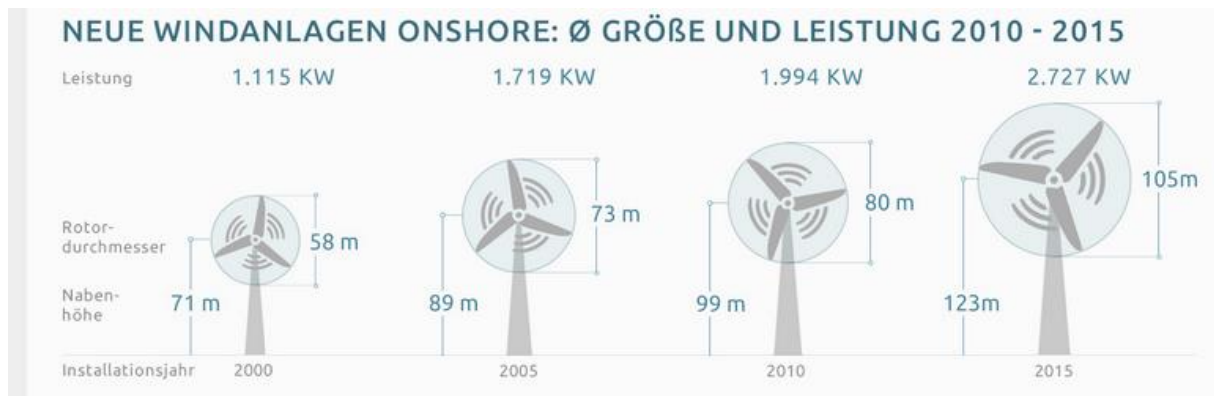


Abbildung 2: Durchschnittliche Leistung der neu installierten onshore Windkraftanlagen in Deutschland (Strom-Report, 2016)

Auch die Produktion durch Wasserkraft wird leicht angepasst. Die von der Umweltallianz (2012) vorgesehene Stromproduktion liegt auf dem gleichen Niveau wie die Produktion des Jahres 2015. Aufgrund der erteilten Zuschläge der KEV für Kleinwasserkraft-Anlagen und einer Realisierungswahrscheinlichkeit dieser Projekte von 35% (EnergieSchweiz, 2014) kann von einem weiteren Zubau ausgegangen werden. Dieser wird anhand der bei der KEV angegebenen Leistung von Kleinwasserkraftanlagen mit positivem Bescheid und deren Realisierungswahrscheinlichkeit berechnet und beträgt knapp 0.5 TWh.

Werden die erneuerbaren Energien wie oben beschrieben zugebaut, können 22.5 TWh an Strom produziert werden. Die genaue Aufteilung auf die vier Energieträger ist in Spalte 1 von Tabelle 5 dargestellt. PV-Strom wird dabei mit 14.5 TWh am stärksten ausgebaut.

Tabelle 5: Zubau von erneuerbaren Energien für das Szenario „100% Erneuerbar“

	„Zubau Umweltallianz“ [TWh]	Prozentualer Anteil	Substitution KKW [TWh]
Wasser	0.5	2%	0.5
KKW	-24.5	-	-
PV	14.5	64.5%	15.8
Wind	1.9	8.5%	2.1
Biomasse	5.6	25%	6.1

Dieser Zubau auf 22.5 TWh pro Jahr könnte somit den wegfallenden KKW-Strom von 24.5 TWh nicht vollständig kompensieren. Deshalb wird für das Szenario „100% Erneuerbar“ die Produktion aller erneuerbaren Energieträger proportional erhöht, um die fehlenden 2 TWh auch substituieren zu können. Dafür wird die prozentuale Aufteilung der erneuerbaren Energien am Zubau, siehe Spalte 2 von Tabelle 5, beibehalten. Werden die gesamten 24.5 TWh mit der vorgestellten prozentualen Aufteilung durch den Zubau von erneuerbaren Energien gedeckt, ergibt sich der in Spalte 3 der Tabelle 5 gezeigte Zubau.

Aus dem berechneten Zubau und den Zahlen zur Stromproduktion im Jahr 2015 ergibt sich die Stromproduktion im Jahr 2030 für das Szenario „100% Erneuerbar“ in Tabelle 6. Da nur die Stromproduktion durch KKW durch den Zubau von erneuerbare Energien ersetzt wurde, werden die 0.4 TWh aus konventionell thermischen Kraftwerken des Jahres 2015 in diesem Szenario nicht ersetzt, sondern ins Jahr 2030 weitergezogen.

Tabelle 6: Strommix für das Szenario „100% Erneuerbar“

	„100% Erneuerbar“ [TWh]
Wasser	40.0
KKW	0
PV	16.9
Wind	2.2
Biomasse	8.8
Fossil/Import	0.4
Total	68.3

2.6 Vergleich der drei Szenarien

Die Zusammensetzung der Stromproduktion im Jahr 2015 und der drei Szenarien für das Jahr 2030 kann in Abbildung 3 verglichen werden. Für alle drei Szenarien macht der Strom aus Wasserkraft einen grossen Anteil an der Gesamtproduktion aus. Der Zubau bei der Wasserkraft ist allerdings beim Szenario „1. Massnahmenpaket“ am grössten. Beim Szenario „100% Erneuerbar“ wird die Wasserkraft nur minim ausgebaut. Strom aus KKW macht für die beiden Szenarien „Minimaler Ausbau“ und „1. Massnahmenpaket“ noch einen grossen Teil der Stromproduktion aus, während dieser im Szenario „100% Erneuerbar“ komplett substituiert wurde. Der grösste Zubau geschieht dabei bei der Stromproduktion aus PV-Anlagen, gefolgt von Strom aus Biomasse. Die Windenergie wird in allen drei Szenarien bis 2030 nur leicht ausgebaut.

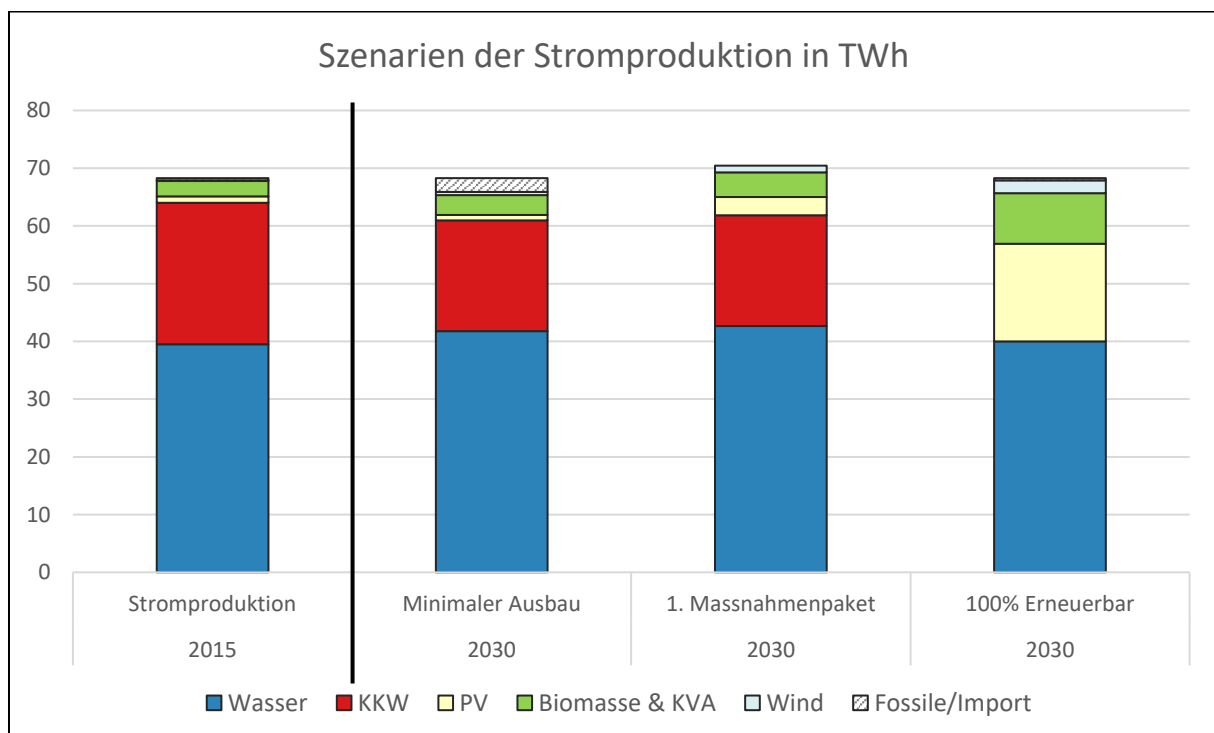


Abbildung 3: Übersicht über die drei Stromproduktions-Szenarien für das Jahr 2030

3 Berechnung der Beschäftigungsfaktoren

Für die einzelnen Technologien zur Stromproduktion aus erneuerbaren Energien werden Beschäftigungsfaktoren hergeleitet. Sie geben an, wie viele Vollzeitäquivalente (VZÄ) durch den Zubau einer Gigawattstunde Strom aus der gewünschten Technologie entstehen. Zusammen mit dem durch die Szenarien bestimmten Ausbau der jeweiligen Technologien kann so der Beschäftigungseffekt pro Technologie ermittelt werden.

Für alle Technologien wird angenommen, dass die Stromproduktion zwischen 2015 und 2030 linear ausgebaut wird. Dadurch entstehen durchschnittliche Zahlen für den Beschäftigungseffekt über 15 Jahre. Zur Veranschaulichung ist der Zubau der erneuerbaren Energien in 5-Jahres-Schritten für das Szenario „100% Erneuerbar“ in Abbildung 4 dargestellt.

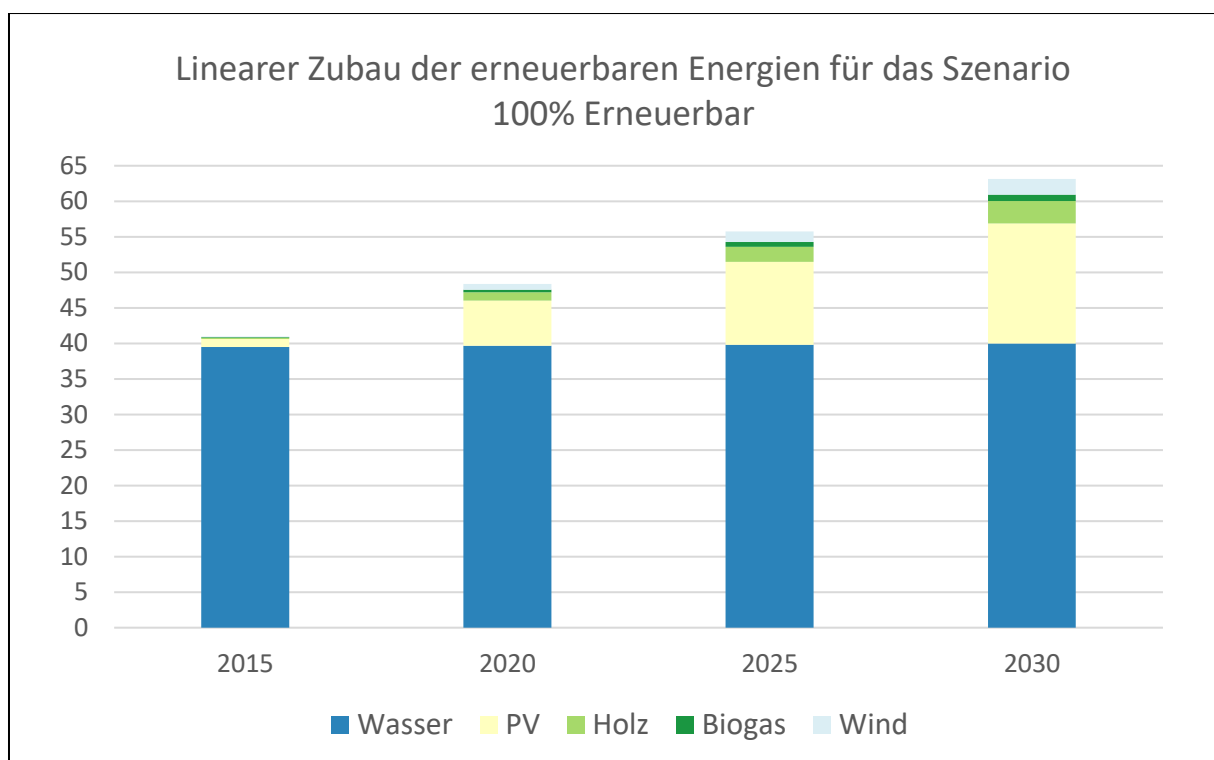


Abbildung 4: Zubau der erneuerbaren Energien für das Szenario „100% Erneuerbar“ in 5-Jahres-Schritten

3.1 Beschäftigungsfaktoren beim Zubau von PV-Anlagen

Die Berechnung der Beschäftigungsfaktoren durch den Zubau von PV-Anlagen basiert auf einer noch nicht veröffentlichten Studie von Rohrer & Sperr (2017). Darin wurde je ein Faktor für den Beschäftigungseffekt durch den Bau von neuen PV-Anlagen und ein Faktor für Betrieb und Wartung dieser neuen PV-Anlagen bestimmt. Für den Bau von neuen Anlagen wurde die Herstellung der Module, die Herstellung der Wechselrichter und der weiteren Materialien sowie Planung und Montage berücksichtigt. Der Beschäftigungseffekt wurde über den generierten Umsatz, den branchenspezifischen Anteil der Personalkosten am Umsatz und dem durchschnittlichen Lohn für die jeweilige Branche errechnet. Es wurde angenommen, dass die Produktion von Wechselrichtern und Modulen grundsätzlich im Ausland geschieht. Bei der Herstellung der Module wurde allerdings berücksichtigt, dass 7.5% der 2015 verbauten PV-Module in der Schweiz hergestellt wurden (Swissolar, 2016). Die Planungs- und

Montagefirma sowie Montagesystem und zusätzliches Material stammt in den Berechnungen aus der Schweiz.

Um die Kosten für den Zubau von PV-Anlagen in den nächsten 15 Jahren abzuschätzen, wurden die Investitionskosten einer PV-Anlage mithilfe der Referenzkosten der KEV ab Oktober 2016 abgeschätzt. Mithilfe der geforderten Stromproduktion aus den drei Szenarien, sowie dem mittleren spezifischen Energieertrag von Netzverbundanlagen für das Jahr 2015 von 965 kWh/kWp (Swissolar, 2016), kann danach berechnet werden, welche Leistung zugebaut werden muss. Dabei wird von einem linearen Zubau ausgegangen (vgl. Abbildung 4). Die Investitionskosten einer PV-Anlage sind u.a. abhängig von ihrer Leistung, deshalb hat die Grösse der zuzubauenden Anlagen einen Einfluss auf den Beschäftigungsfaktor. Um die durchschnittliche Grösse der neuen Anlagen zu bestimmen, wurde angenommen, dass die Verteilung der Grösse der neuen Anlagen gleich bleibt wie im Jahr 2015. Den 2015 neu zugebauten Netzverbundanlagen wurde aufgrund ihrer Grösse die passenden Referenz-Investitionskosten der KEV zugeteilt, siehe Tabelle 7. Die Kategorie 20 bis 50 kWp wird mit den Referenzkosten für Anlagen kleiner als 30 kWp verrechnet, da die dort aufgeführten Anlagen im Durchschnitt eine Leistung von 27 kWp aufweisen (vgl. Swissolar, 2016). Aufgrund ihres prozentualen Anteils an der gesamten neu installierten Leistung wurde ein durchschnittlicher Preis von 1'494 CHF/kWp für den Zubau berechnet.

Tabelle 7: Grösse der 2015 zugebauten PV-Netzverbundanlagen und dazugehöriger Referenzkosten der KEV

	Leistung [kWp] ¹⁾	Anteil Gesamtleistung	Referenzkosten [CHF/kWp] ²⁾
Bis 4 kWp	2'646	1 %	1'815
4 bis 20 kWp	51'126	15 %	1'815
20 bis 50 kWp	45'873	14 %	1'815
50 bis 100 kWp	36'852	11 %	1'410
Über 100 kWp	200'688	60 %	1'350

1) Zahlen aus Swissolar (2016, S. 17)

2) Zahlen aus Swissgrid (2016)

Die Aufteilung der Investitionskosten, welche dem Umsatz der installierenden Firmen gleichgesetzt werden, wurden mit der in Abbildung 5 gezeigten Verteilung auf die verschiedenen Komponenten beim Bau einer PV-Anlage verteilt.

Aus dem generierten Umsatz für die Herstellung der Komponenten und der Installation der PV-Anlagen pro kWp kann mit branchenspezifischen Personalkostenanteilen auf die entstehenden Personalkosten geschlossen werden. Diese können mit Formel 1 zum Beschäftigungsfaktor umgerechnet werden.

Formel 1: Berechnung des einmaligen Beschäftigungsfaktors für PV-Anlagen

$$\text{Beschäftigungsfaktor} \left[\frac{\text{VZÄ}}{\text{GWh}} \right] = \text{Personalkosten} \left[\frac{\text{CHF}}{\text{kWp}} \right] / \left(\text{Jahresbruttolohn} * 965 \frac{\text{kWh}}{\text{kWp}} \right) * 10^6$$

Die konkreten Personalkosten, Jahresbruttolöhne und resultierende Beschäftigungsfaktoren sind in Tabelle 8 aufgeführt. Die jährlichen Effekte werden dabei gleich berechnet wie die einmaligen Effekte. Dazu werden die Kosten für Betrieb und Wartung einer PV-Anlage in der Schweiz auf 4 Rp/kWh festgelegt. Dieser Wert liegt an der unteren Grenze des Bereichs der Wartungskosten, welche für 2016 neu gebaute Anlagen erreicht werden kann (BFE, 2016e). Nach IÖW & ZEE (2010) liegt der Personalkostenanteil für Betrieb und Wartung bei 5% der gesamten Kosten für Betrieb und Wartung.

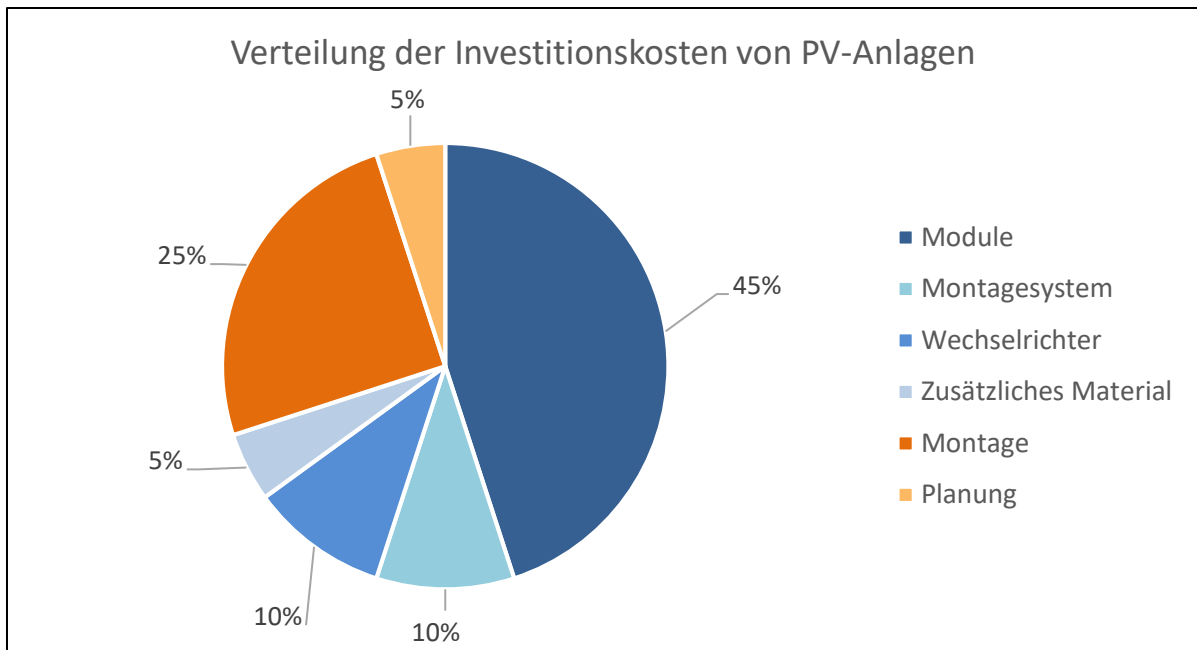


Abbildung 5: Prozentuale Aufteilung der Investitionskosten einer PV-Netzverbundanlage (Rohrer & Sperr, 2017)

Um auf den einmaligen Beschäftigungseffekt der drei Szenarien zu schliessen, kann der in Tabelle 8 mit Formel 1 berechnete Beschäftigungsfaktor für die einmaligen Effekte mit der jährlich zuzubauenden Stromproduktion multipliziert werden. Da von einem linearen Zubau ausgegangen wird, bleibt dieser Teil des Beschäftigungseffekts für die 15 betrachteten Jahre gleich. Um den durchschnittlichen jährlichen Beschäftigungseffekt der Szenarien durch Betrieb und Wartung der PV-Anlagen zu bestimmen, wird der totale Zubau der Stromproduktion der Szenarien mit dem jährlich anfallenden Beschäftigungsfaktor multipliziert. Da im Durchschnitt über die 15 Jahre nur die Hälfte der Anlagen gebaut sind und gewartet werden müssen, wurde dieser Wert halbiert.

Tabelle 8: Personalkosten beim Bau von 1 kWp einer Standard-Anlage und die resultierenden Beschäftigungsfaktoren

	Personalkosten [CHF/kWp]	Jahresbruttolohn [CHF]	Beschäftigungsfaktor [VZÄ/GWh]
Einmalige Faktoren:			4.04
Produktion	98	68'500	1.48
Planung & Montage	166	67'000	2.57
Jährliche Faktoren:			0.09
Betrieb & Wartung	6	67'000	0.09

3.1.1 Kostenreduktion bei PV-Anlagen

Gemäss Energie Zukunft Schweiz (2016, p. 4) betrug die Kostenreduktion der letzten 2 Jahre für die Investitionskosten 5%. Deshalb wird zusätzlich ein Szenario ausgearbeitet, bei dem die Kosten für PV-Anlagen abnehmen. Es wurde mit einer jährlichen Reduktion der Investitionskosten von 2.5% gerechnet. Dies entspricht durchschnittlichen Investitionskosten von 1'227 CHF/kWp. Zusätzlich wurden die Wartungskosten von 4 Rp/kWh auf 3.5 Rp/kWh reduziert. Dieser Wert entspricht den Wartungskosten, welche das BFE (2016a, S. 15) als Berechnungsgrundlagen für die neuen KEV-Vergütungssätze verwendet. Mit dem analogen Vorgehen gemäss Kapitel 3.1 ergibt sich somit ein einmaliger Beschäftigungsfaktor in der Höhe von 3.3 VZÄ/GWh und ein jährlicher Faktor von 0.08 VZÄ/GWh.

3.2 Beschäftigungsfaktor beim Zubau von Windanlagen

Die direkte Beschäftigung aus dem Bau und Betrieb von Windkraftanlagen wurde durch Blanco & Rodrigues (2009) für verschiedene EU-Staaten bestimmt. Zwischen den untersuchten Ländern wurden Unterschiede in der Beschäftigung pro installierte Leistung festgestellt. Für die Schweiz gibt es keine vergleichbare Studie. Deshalb wurden die Zahlen von Blanco & Rodrigues (2009) auf die Schweiz angepasst und für eine grobe Abschätzung verwendet (siehe unten). Die Unterschiede in der Anzahl Arbeitsplätze pro installierte Leistung lassen sich vor allem auf die Exportkapazität der einzelnen Länder zurückführen, da die Herstellung der Windanlagen mit 37% den grössten Beschäftigungseffekt aufweist (Blanco & Rodrigues, 2009).

Um einen Beschäftigungsfaktor für die Schweiz zu erhalten, wird zuerst der Durchschnitt aus den Faktoren von Deutschland, Frankreich und Spanien, nach Blanco & Rodrigues (2009) den repräsentativsten Ländern für Windkraft, gebildet. Dieser liegt bei 1.83 VZÄ/MW. Die grossen Herstellerfirmen von Windkraftanlagen in Europa kommen aus Deutschland, Spanien und Dänemark (Odrich, 2016). Da die Schweiz nicht zu den wichtigen Ländern für die Produktion von Windkraftanlagen gehört, wird der Beschäftigungsanteil aus der Produktion vom Durchschnitt abgezogen. Zusammen mit einer durchschnittlichen Schweizer Jahreslaufzeit von 1'700 Volllaststunden (Lüthi, 2014) ergibt das einen Faktor von 0.68 VZÄ/GWh. Dieser Faktor wurde nicht in einmalige und jährliche Effekte aufgeteilt, da die entsprechenden Grundlagen fehlten.

3.3 Beschäftigungsfaktoren Biomasse

Für den Ausbau der Stromproduktion aus Biomasse stehen verschiedene Technologien im Fokus. Möglich ist insbesondere ein Zubau von Biogas-Anlagen und ein Zubau von mit Holz betriebenen Blockheizkraftwerken (BHKW). Zudem kann die Stromproduktion in KVA und ARA durch Effizienzmassnahmen erhöht werden (Umweltallianz, 2014). In den folgenden Abschnitten werden die beiden Beschäftigungsfaktoren für Ausbau und Betrieb von Biogasanlagen sowie der Beschäftigungsfaktor für die Holzbereitstellung vorgestellt. Da viele der sich zurzeit in Betrieb befindenden fossilen Grossfeuerungsanlagen bald ersetzt oder saniert werden müssen, können diese ohne grossen zusätzlichen Aufwand auf den Betrieb mit Holz umgerüstet werden (Umweltallianz, 2014). Deshalb wird kein Beschäftigungsfaktor für den Zubau von BHKW zur Stromgewinnung aus Holz berechnet und nur der Einfluss auf die Beschäftigung durch die Bereitstellung des Energieholzes berücksichtigt. Für die Berechnung des Beschäftigungsfaktors durch Effizienzsteigerungen bei KVA und ARA fehlen die Grundlagen, deshalb wurde er nicht berücksichtigt.

Biogas-Anlagen:

Der Beschäftigungseffekt durch Biogas-Anlagen wurde anhand von Branchenzahlen aus Deutschland für die Schweiz abgeschätzt. Es sind Zahlen der Stromproduktion sowie der neu zugebauten elektrischen Leistung für das Jahr 2012 vorhanden (Fachverband Biogas, 2013). Die Zahlen zur gesamten Beschäftigung im Jahr 2012 und die Aufteilung der Beschäftigten auf Zubau, Betrieb & Wartung der Anlagen und Bereitstellung des Kraftstoffes geschieht mit den Angaben aus Lehr, Edler, O'Sullivan, Peter & Bickel (2015, S. 75 f.). Durch den Bau neuer Anlagen entstehen somit etwa 35% der Arbeitsplätze, durch den Betrieb der bereits bestehenden Anlagen ca. 25%. Die restlichen 40% entfallen auf die Bereitstellung des Kraftstoffes.

Da in Deutschland ein grosser Teil des Kraftstoff-Anbaus aus Mais besteht, ist dieser Teil des Beschäftigungseffektes nicht mit der Schweiz vergleichbar (Baier, 2016). Die Arbeitsplätze für die Bereitstellung des Kraftstoffes wurden deshalb nicht berücksichtigt. Die Faktoren des

Beschäftigungseffekte werden jeweils separat für den Zubau und den Betrieb berechnet. Die Lebensdauer einer Biogasanlage wird auf 20 Jahre festgelegt (Lehr et al., 2015). Die zwischen 2015 und 2030 neu zugebauten Anlagen werden daher alle über den betrachteten Zeitpunkt im Jahr 2030 betrieben werden können.

Im Jahr 2012 wurden durch 18'600 Personen (Lehr et al., 2015) 255 MW elektrische Leistung zugebaut (Fachverband Biogas, 2013). Das ergibt einen Faktor von 73 VZÄ/MW. Mit einer durchschnittlichen Stromproduktion der damals installierten Anlagen von 7 GWh/MW (vgl. Fachverband Biogas, 2013) ergibt dies ein Faktor von 10.7 VZÄ/GWh. Gleichzeitig wurden 11'600 Personen beschäftigt, um die bereits vorhandenen Anlagen mit 22'840 GWh Stromproduktion zu betreiben. Das ergibt einen Faktor von 0.51 VZÄ/(GWh*Jahr).

Holz:

Für die Gewinnung von Strom und Wärme aus Holz wird nur der Beschäftigungseffekt durch die Holzgewinnung angerechnet. Viele der sich zurzeit in Betrieb befindenden fossilen Gross-feuerungsanlagen müssen bald ersetzt oder saniert werden (Umweltallianz, 2014). Es wird angenommen, dass diese Anlagen bei der Sanierung auf einen Betrieb als BHKW zur gleichzeitigen Wärme- und Stromerzeugung mit Biomasse umgerüstet werden. Da eine Sanierung oder ein Ersatz der Anlage unabhängig vom gewählten Szenario so oder so notwendig ist, entsteht beim Umbau nur ein relativ kleiner Beschäftigungseffekt, welcher in dieser Studie mangels Daten vernachlässigt wird. Es wird nur der Aufwand für die Gewinnung des Energieholzes berücksichtigt.

Bei einem Wassergehalt von 20% hat Laubholz einen durchschnittlichen Heizwert von 3'250 kWh/m³, Nadelhölzer haben durchschnittlich 2'370 kWh/m³ (vgl. Bauer, 2007, p. 14). In den letzten 10 Jahren bestand das Energieholz in der Schweiz im Durchschnitt zu 33% aus Nadelholz und zu 67% aus Laubholz (BFS, 2016c). Es wird angenommen, dass diese Zusammensetzung über die nächsten 15 Jahre so bestehen bleibt. Mit der prozentualen Aufteilung von Schweizer Energieholz zwischen Laub- und Nadelholz wird daher mit einem durchschnittlichen Heizwert von 2'960 kWh/m³ gerechnet. Der elektrische Wirkungsgrad von Holz-WKK-Anlagen liegt zwischen 15 bis 30% (Keel, 2013). Da die Technologien mit hohem elektrischen Wirkungsgrad noch nicht marktreif sind, sich diese aber in den nächsten Jahren durch Holzgas-Technologien verbessern dürften, wird mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 25% gerechnet. Pro GWh Strom wird daher Holz mit einem Heizwert von 4 GWh benötigt, was etwa 1'350 m³ Holz entspricht.

Es wird damit gerechnet, dass pro Kubikmeter Holz ein Arbeitsaufwand von 0.6 Stunden aufgewendet wird. Wie in Abbildung 6 dargestellt ist, entspricht dies dem durchschnittlichen Aufwand für die Schweiz (BFS, 2016b). Dies ergibt einen Arbeitsaufwand von 810 Stunden für die Produktion von einer GWh Strom.

Betriebsergebnisse ausgewählter Forstbetriebe 2015

Einnahmen, Ausgaben und Arbeitsstunden

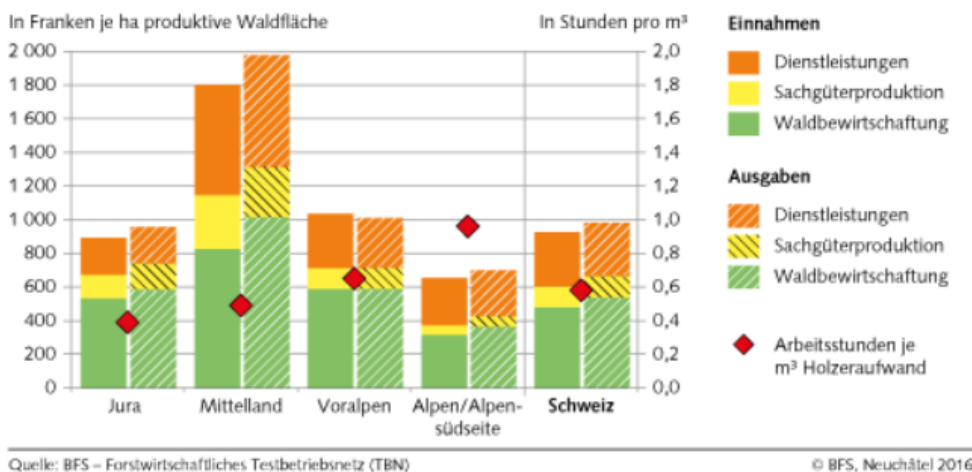


Abbildung 6: Arbeitsstunden pro m³ geerntetes Holz (BFS, 2016b)

Im Jahr 2015 arbeiteten Angestellte mit einer Vollzeitstelle in der Forstwirtschaft 2'120 Stunden im Jahr (BFS, 2016a). Der Beschäftigungseffekt für die Bereitstellung des Holzes beträgt somit 0.38 VZÄ/GWh.

3.4 Beschäftigungsfaktor beim Zubau von Wasserkraft

Der Beschäftigungseffekt aus Wasserkraft wird anhand der Vollzeitäquivalente (VZÄ) aus dem Bericht von Rütter+Partner, Ernst Basler+Partner, & Fraunhofer ISI (2013) und der Stromproduktion aus Wasserkraft für das Jahr 2010 abgeleitet. Die Beschäftigung der gesamten Wasserkraft lag im Jahr 2010 bei 5'474 VZÄ (Rütter+Partner, Ernst Basler+Partner, & Fraunhofer ISI, 2013). Die Stromproduktion belief sich auf 37'450 GWh (BFE, 2016c). Aus dem Quotient der Beschäftigung und der Stromproduktion wurde ein Beschäftigungsfaktor von 0.15 VZÄ/GWh berechnet. In diesem Faktor sind Stellen durch den Betrieb der Anlagen enthalten, aber auch Stellen für den Bau von neuen Anlagen. Diese flossen durch die Anzahl Beschäftigten in den berechneten, jährlichen Beschäftigungsfaktor ein und können nicht voneinander getrennt werden.

4 Beschäftigungsrückgang bei Schweizer KKW

Das Europäische Atomforum (Foratom) hat im Jahr 2015 eine Übersicht über die Beschäftigten in der zivilen Nuklearindustrie für Europa veröffentlicht (Foratom, 2015). Die Schweiz hat demnach 2'000 direkte Beschäftigte. Indirekt geht Foratom (2015) von insgesamt 4'000 Stellen aus. Die Zahlen für indirekte Stellen wurden allerdings von einer Studie aus Frankreich abgeleitet. Da die Nuklearindustrie in Frankreich um einiges grösser ist und zum Beispiel auch Uran abgebaut wird (pwc, 2011), dürften die Zahlen für die Schweiz eher tiefer ausfallen.

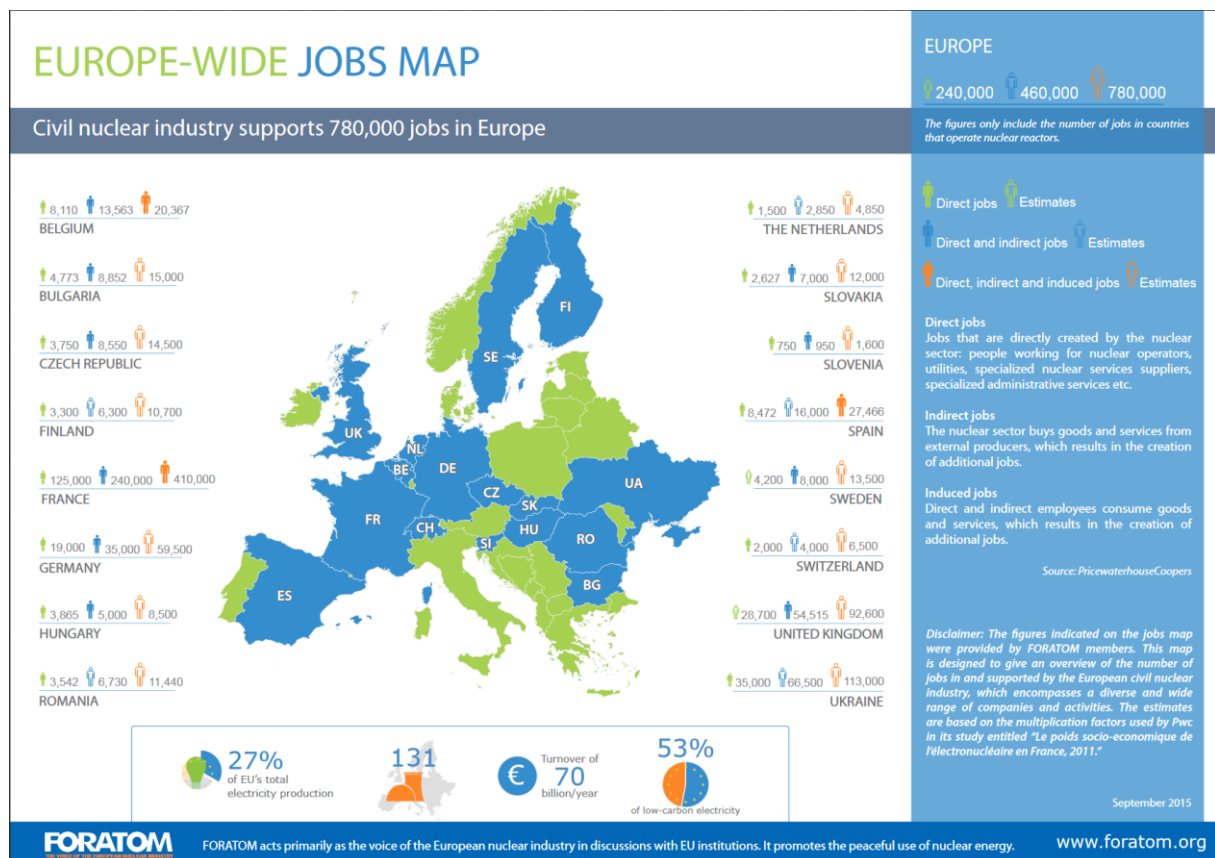


Abbildung 7: Beschäftigte der Nuklearindustrie in Europa (Foratom, 2015)

In dieser Studie werden nur die 2'000 direkten Stellen berücksichtigt. Diese decken sich mit den von swissnuclear (n. d.) publizierten Beschäftigtenzahlen der fünf KKW der Schweiz. Die Anzahl der Beschäftigten pro KKW sind in Tabelle 9 aufgelistet. Total sind gemäss swissnuclear (n. d.) 1'945 Personen in den Schweizer KKW angestellt. Da auch noch Mitarbeitende im Zwischenlager Würenlingen (Zwilag) und des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats (ENSI) dazugezählt werden können, erscheint die Zahl von 2'000 Arbeitsplätzen plausibel.

Der Stellenabbau bei Schweizer KKW wird für alle drei Szenarien abgeschätzt. Für die Szenarien „Minimaler Ausbau“ und „1. Massnahmenpaket“ wird angenommen, dass alle KKW weiter betrieben werden, bis sie nach 60 Jahren Betriebszeit vom Netz genommen werden und in die Nachbetriebsphase und Stilllegung übergehen. Ausnahme ist das KKW Mühleberg, welches in diesem Fall, wie von der BKW geplant, im Jahr 2019 den Leistungsbetrieb einstellen wird (vgl. BKW Energie AG, 2016). Für das Szenario „100% Erneuerbar“ werden die von der AAI vorgegebenen Ausschalttermine als Grundlage der Berechnungen verwendet. Eine Übersicht über die 5 Schweizer KKW und ihr voraussichtliches Abschaltdatum bei einer Annahme oder Ablehnung der AAI befindet sich in Tabelle 2.

Tabelle 9: Anzahl Mitarbeitende in den Schweizer KKW (swissnuclear, n.d.)

	Anzahl Mitarbeitende
Beznau I & II	515
Mühleberg	350
Gösgen	530
Leibstadt	550
Total	1'945

Für die KKW, welche sich ganz am Anfang der Nachbetriebsphase oder ganz am Ende der Stilllegungsphase befinden, wird jeweils vereinfacht angenommen, dass noch alle beziehungsweise keine Personen durch das KKW beschäftigt werden. Dass zu Beginn des Rückbaus noch keine Stellen abgebaut wurden, lässt sich durch den Bericht von swissnuclear plausibilisieren: „Zu Beginn der Nachbetriebsphase steht das Kernkraftwerkpersonal zunächst in unverminderter Anzahl zur Verfügung“ (swissnuclear, 2011a, p. 13). Am Ende der Stilllegung eines KKW besteht laut swissnuclear (2011b) nur noch ein vergleichsweise geringer Personalaufwand. Ausserdem werden auch diese letzten verbleibenden Stellen in den darauffolgenden Jahren abgebaut. Deswegen wird bei KKW, welche im Jahr 2030 beinahe fertig zurückgebaut sind, davon abgesehen eine Zahl für die beschäftigten Personen abzuschätzen und angenommen, dass durch dieses KKW keine Personen mehr beschäftigt werden.

4.1 Beschäftigungsrückgang bei einer KKW Laufzeit von 60 Jahren

Wird die AAI abgelehnt, so können die Schweizer KKW weiterhin ohne fixe Laufzeitbeschränkung betrieben werden. Wie in Kapitel 2.3 beschrieben, wird deshalb die Laufzeit aller KKW ausser Mühleberg auf 60 Jahre angenommen. Dadurch werden nur Beznau I und Mühleberg vor dem Jahr 2030 vom Netz genommen (vgl. Tabelle 2). Die Abschätzung der Stellenverluste geschieht mithilfe der beiden Kostenstudien von swissnuclear zu den Kosten der Nachbetriebsphase und der Stilllegungskosten von Schweizer KKW (swissnuclear, 2011a & 2011b).

Für Beznau I wird bis 2030 kein Stellenabbau erwartet, da die Nachbetriebsphase erst seit einem Jahr begonnen hat. Dies wird, wie vorher beschrieben, mit der „Kostenstudie 2011 (KS11) Schätzung der Kosten der Nachbetriebsphase der Schweizer Kernkraftwerke“ von swissnuclear (2011) begründet.

Anders sieht es für das KKW Mühleberg aus. Es wird durch die BKW im Jahr 2019 vom Netz genommen. Die BKW rechnet damit, dass die Stilllegungsarbeiten bis im Jahr 2031 abgeschlossen sind und danach noch der konventionelle Abbruch stattfindet (vgl. BKW Energie AG, 2016, p. 28). Auch die „Kostenstudie 2011 (KS11) Schätzung der Stilllegungskosten der Schweizer Kernanlagen“ (swissnuclear, 2011b) kommt zu einem ähnlichen Ergebnis. Sie rechnet damit, dass es 14.5 Jahre dauern wird, um die Stilllegungs- und Rückbauarbeiten im KKW Mühleberg nach dessen Abschaltung durchzuführen. Nach dem Jahr 2030 wären somit noch einige Personen mit der Demontage der Einrichtung im konventionellen Bereich und mit dem konventionellen Abriss beschäftigt. Da die Beschäftigung in diesen beiden Arbeitspaketen insgesamt weniger als 10% des gesamten Personalaufwands ausmacht (vgl. swissnuclear, 2011b, p. 54), wird vereinfacht geschätzt, dass im Jahr 2030 keine Personen mehr durch das KKW Mühleberg angestellt sind. Somit gehen die heute 350 vorhandenen Stellen vollständig verloren. Eine Übersicht über die Mitarbeitenden im Jahr 2015 und 2030 befindet sich in Tabelle 10.

Tabelle 10: Mitarbeitende in Schweizer KKW bei einer Laufzeit von 60 Jahren

	Mitarbeitende 2015	Mitarbeitende 2030	Stellenabbau
Beznau I & II	515	515	0
Mühleberg	350	0	350
Gösgen	530	530	0
Leibstadt	550	550	0
Total	1'945	1'595	350

Zusammengefasst bedeutet dies, dass bei einer Ablehnung der AAI und einem Weiterbetrieb der KKW bis zu einer Laufzeit von 60 Jahren 350 Stellen bis ins Jahr 2030 verloren gehen. Diese sind alle auf das KKW Mühleberg zurück zu führen, welches durch die BKW im Jahr 2019 freiwillig nach einer Laufzeit von 47 Jahren abgeschaltet wird. Die restlichen 1'650 Stellen sind im Jahr 2030 noch vorhanden.

4.2 Beschäftigungsrückgang bei einer KKW Laufzeit von 45 Jahren

Bei einer Annahme der AAI werden die drei KKW Beznau I und II sowie Mühleberg im Jahr 2017 vom Netz genommen. Das KKW Gösgen folgt im Jahr 2024 und Leibstadt wird im Jahr 2029 als letztes Schweizer KKW den Leistungsbetrieb aufgeben. Dies bedeutet auch ein Stellenabbau bei den KKW. Auch in diesem Fall wird mit den beiden Kostenstudien von swissnuclear (2011a & 2011b) die Auswirkung auf die Beschäftigten in Schweizer KKW abgeschätzt.

Für KKW, welche sich am Anfang oder Ende ihrer Stilllegung befinden, werden die gleichen Annahmen getroffen wie im Unterkapitel 4.1. Für das KKW Gösgen, welches sich als einziges KKW im Jahr 2030 mitten in der Stilllegungsphase befindet, werden spezielle Annahmen für die Abschätzung der noch beschäftigten Mitarbeiter getroffen: Der geschätzte Personenaufwand für die verschiedenen Arbeitspakete aus der Kostenschätzung von swissnuclear (2011b) wird gleichmässig auf die im Zeitplan von swissnuclear (2009) vorgegebene Zeitdauer der jeweiligen Arbeitspakete verteilt. Daraus ergibt sich eine Spannbreite von Beschäftigten, welche während der aufwändigsten Phase der Stilllegung im KKW Gösgen beschäftigt sein werden. Eine Übersicht befindet sich in Tabelle 11, eine genauere Beschreibung pro KKW befindet sich in den nachfolgenden Abschnitten.

Das KKW Mühleberg kann mit einem Abschaltdatum im Jahr 2017 und einer Rückbaudauer von 14.5 Jahren im Jahr 2030 bereits vollständig stillgelegt und zurückgebaut sein. Die 350 Arbeitsstellen sind in diesem Fall nicht mehr vorhanden.

Für Beznau I und II rechnet swissnuclear (2011b) mit einer Rückbaudauer von 17 Jahren. Das bedeutet, dass die Rückbauarbeiten, vor allem der konventionelle Abriss im Jahr 2030 noch nicht vollständig beendet sind. Ähnlich wie im Unterkapitel 4.1 für das KKW Mühleberg, wird auch in diesem Fall davon ausgegangen, dass im Jahr 2030 kein nennenswerter Beschäftigungseffekt mehr durch das KKW Beznau I und II entsteht. Auch in diesem Fall ist der Personalaufwand für die beiden Arbeitspakete „Demontage Einrichtungen konventioneller Bereich“ und „konventioneller Abriss“ insgesamt kleiner als 10%. Es wird daher angenommen, dass die 515 Stellen der Kernkraftwerke Beznau I und II bis im Jahre 2030 abgebaut sein werden.

Für das KKW Leibstadt wird die gleiche Annahme getroffen wie für das KKW Beznau I im Unterkapitel 4.1. Da die Nachbetriebsphase erst seit einem Jahr in Gange ist, sind noch keine Stellen verloren gegangen.

Tabelle 11: Mitarbeitende in Schweizer KKW bei einer Laufzeit von 45 Jahren

	Mitarbeitende 2015	Mitarbeitende 2030	Stellenabbau
Beznau I & II	515	0	515
Mühleberg	350	0	350
Gösgen	530	150-250	280-380
Leibstadt	550	550	0
Total	1'945	700-800	1'325-1'425

Komplexer wird es beim KKW Gösgen, da sich dies im Jahr 2030 schon seit 6 Jahre im Rückbau befindet, aber noch lange nicht vollständig stillgelegt ist. Daher wird mithilfe der Kostenstudie zum Rückbau von Schweizer KKW für das Jahr 2006 (swissnuclear, 2009, p. 47) abgeschätzt, wie viele Personen an der Stilllegung beteiligt sind. Konkret wurde die in den Anhängen von swissnuclear (2009) angefügte Tabelle zu den Stilllegungskosten pro Jahr genutzt, um den zeitlichen Ablauf der verschiedenen Arbeitspakete einschätzen zu können. Zusammen mit dem publizierten Personalaufwand in der Kostenabschätzung von 2011 (swissnuclear, 2011b, p. 55) konnte so abgeschätzt werden, welche Arbeiten bis im Jahr 2030 schon abgeschlossen sein werden und welche danach noch durchgeführt werden müssen. Der Personalaufwand wurde dabei gleichmässig auf die Jahre verteilt, während denen die Arbeitspakete ausgeführt werden. Die gleichmässige Verteilung des Personalaufwands auf die Dauer der Arbeitspakete zeigt, dass während der Stilllegung des KKW Gösgen im Jahr 2030 zwischen 150 und 250 Vollzeitstellen benötigt werden. Das bedeutet, dass noch maximal die Hälfte aller Stellen beim KKW Gösgen vorhanden sind. Dass bei der Stilllegung eines KKW noch ca. die Hälfte der anfänglichen Stellen vorhanden sind deckt sich mit den Erfahrungen beim Rückbau des KKW Biblis in Deutschland, welches sich am Anfang der Stilllegungsphase befindet (RWE Power Aktiengesellschaft, 2016).

Aus den oben genannten Abschätzungen lässt sich schliessen, dass im Szenario „100% Erneuerbar“ bis im Jahr 2030 zwischen 1'300 und 1'500 Stellen bei Schweizer KKW abgebaut werden.

5 Beschäftigungseffekte der drei Szenarien

Der Beschäftigungseffekt der drei Szenarien wird mithilfe des Zubaus der erneuerbaren Energien zwischen 2015 und 2030 und der Beschäftigungsfaktoren berechnet. Die jährlich entstehenden Beschäftigungsfaktoren durch den Betrieb und die Wartung der neu zugebauten Anlagen werden aufgrund der durchschnittlichen Stromproduktion zwischen 2015 und 2030 berechnet. Da von einem linearen Zubau der Technologien ausgegangen wird, entspricht dies genau der Hälfte der Stromproduktion im Jahr 2030. Zusätzlich sind für PV- und Biogasanlagen einmalige Beschäftigungsfaktoren für den Bau von neuen Anlagen vorhanden, welche mit dem jährlichen Zubau der Stromproduktion verrechnet werden. Die negativen Beschäftigungseffekte durch die Abschaltung von KKW wurden bereits in Kapitel 4 bestimmt. Ein Vergleich der drei Szenarien mit ihren positiven und negativen Beschäftigungseffekten befindet sich in Abbildung 8.

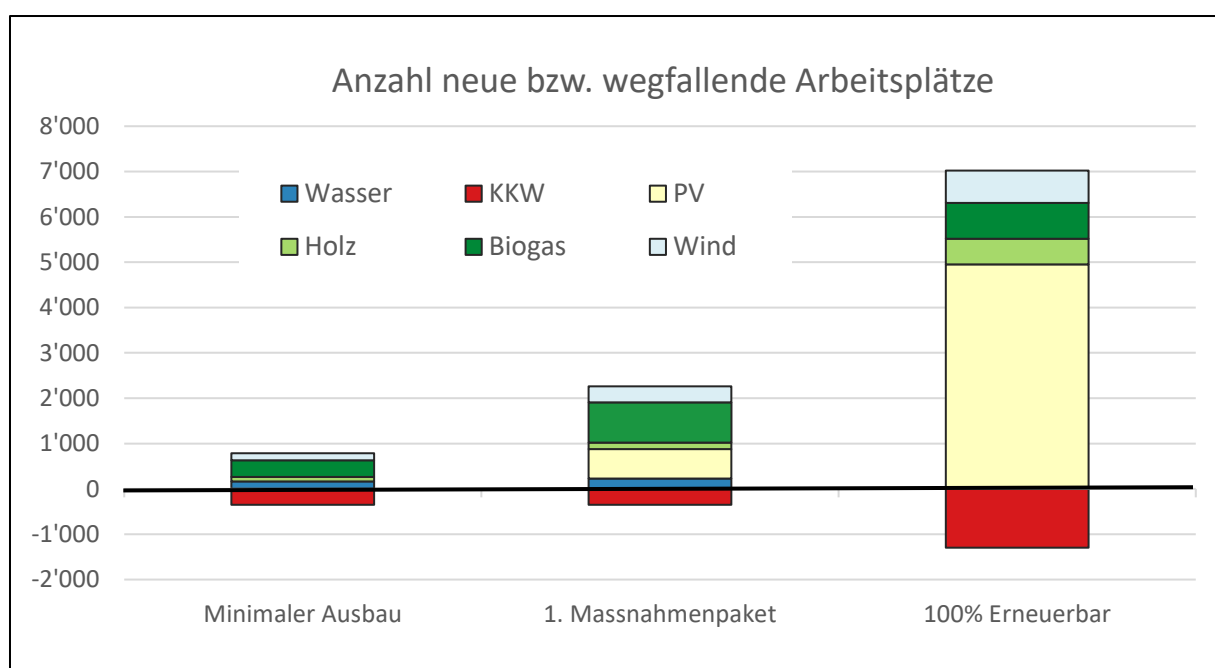


Abbildung 8: Anzahl neue bzw. wegfallende Arbeitsplätze

Wird bei einer Annahme der AAI der gesamte KKW-Strom durch erneuerbare Energien ersetzt, können durchschnittlich ca. 7'000 neue Stellen geschaffen werden. Dies zeigen die Resultate des Szenarios „100% Erneuerbar“ in Abbildung 8. Allerdings fallen auch um die 1'300 Stellen bei den Schweizer KKW weg. Netto werden ca. 5'700 Stellen geschaffen. Der grösste Teil entsteht mit fast 5'000 neuen Stellen durch den Zubau und anschliessende Wartung von PV-Anlagen. Der Zubau von Biogas- und Windkraftanlagen führt jeweils zu 700 bis 800 zusätzlichen Stellen. Durch Bereitstellung des Energieholzes zur Stromproduktion werden nochmals knapp 600 Stellen geschaffen. Der geringe Ausbau der Wasserkraft führt dazu, dass in diesem Sektor praktisch keine neuen Stellen geschaffen werden.

Werden weder das 1. Massnahmenpaket der Energiestrategie 2050 noch die AAI umgesetzt, entstehen knapp 1'000 neue Vollzeitstellen. Im Szenario „Minimaler Ausbau“ entstehen praktisch keine neuen Stellen durch PV-Anlagen. Auch die zusätzliche Beschäftigung im Windsektor, bei der Bereitstellung von Holz und in der Wasserkraft ist sehr gering. Den grössten Anteil an der zusätzlichen Beschäftigung hat der Bau und Betrieb von neuen Biogasanlagen. Da um die 350 Stellen durch die Abschaltung des KKW Mühleberg wegfallen, entsteht ein Netto-Beschäftigungseffekt von knapp 500 Stellen.

Das Szenario „1. Massnahmenpaket“ beinhaltet einen grösseren Ausbau der erneuerbaren Energien bis 2030 als das Szenario „Minimaler Ausbau“. Dadurch entsteht auch ein grösserer Beschäftigungseffekt durch den Zubau, während die wegfallenden Stellen durch die Abschaltung der zwei KKW gleich bleiben. Auch in diesem Szenario ist der Beschäftigungseffekt durch den Zubau von Wasserkraft und der Stromproduktion aus Holz gering. Durch den Bau und Betrieb von neuen Windkraftanlagen werden rund 350 neue Stellen geschaffen, durch PV-Anlagen sind es ca. 650. Der grösste Beschäftigungseffekt entsteht mit knapp 900 Stellen durch die Stromproduktion mit Biogasanlagen. Netto werden im Szenario „1. Massnahmenpaket“ knapp 2'000 zusätzliche Stellen geschaffen.

Die grössten Unterschiede zwischen den Szenarien liegen beim höheren Beschäftigungsrückgang in KKW und den 5'000 neu geschaffenen Stellen durch den Bau und Betrieb von PV-Anlagen im Szenario „100% Erneuerbar“. Es wird klar ersichtlich, dass der Zubau von erneuerbaren Energien mehr neue Stellen schafft als durch die Abschaltung der KKW verloren gehen.

5.1 Beschäftigungseffekt bei sinkenden Preisen für PV-Anlagen

Der mit Abstand grösste Beschäftigungseffekt beim Szenario „100% Erneuerbar“ stammt vom Ausbau der Photovoltaik. Dabei wurde von jeweils konstanten spezifischen Investitionskosten (CHF/kWp) ausgegangen. Wird mit einem Rückgang der Kosten für den Bau von PV-Anlagen gerechnet, sinkt auch der Beschäftigungseffekt im PV-Bereich. Die Auswirkungen auf die Beschäftigungseffekte der drei Szenarien sind in Abbildung 9 dargestellt.

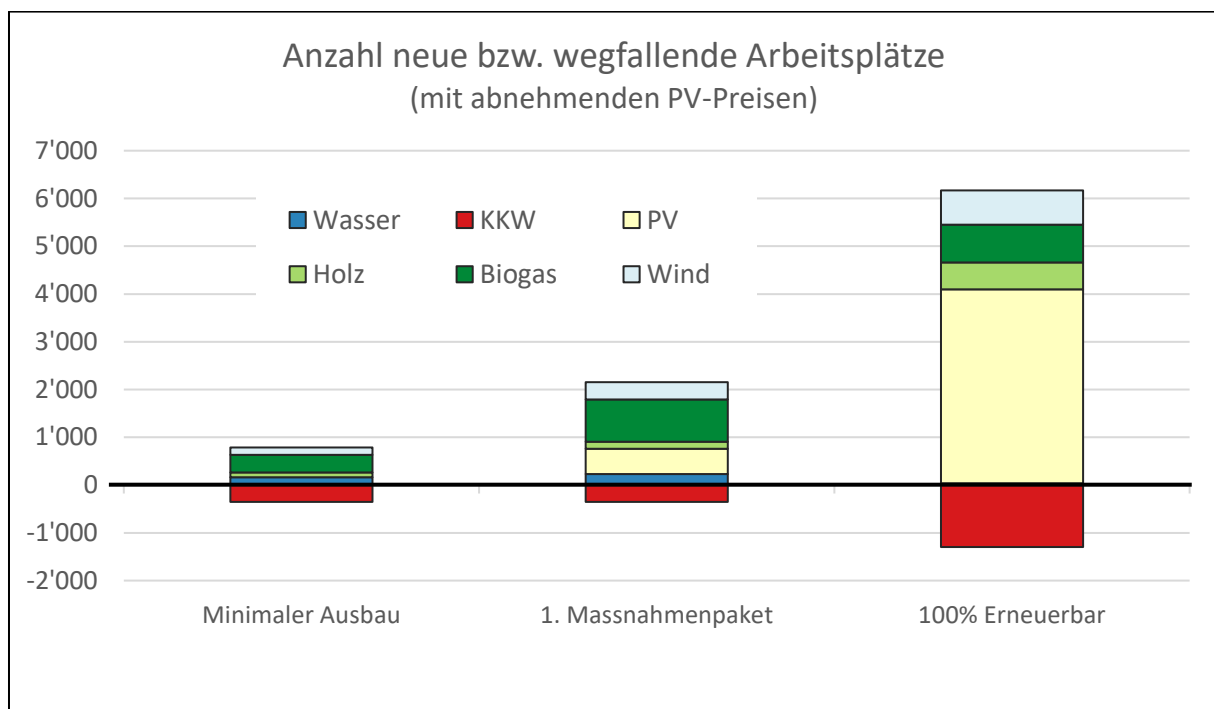


Abbildung 9: Anzahl neue bzw. wegfallende Arbeitsplätze bei abnehmenden Kosten für PV-Anlagen

Das Szenario „Minimaler Ausbau“ verändert sich durch die Verringerung der Kosten nicht, da dort kein weiterer Ausbau von PV-Anlagen geplant ist. Die PV-Produktion im Jahr 2015 erreichte bereits die im Szenario „Minimaler Ausbau“ für 2030 vorhergesagte Menge. Für das Szenario „100% Erneuerbar“ verringern sich die bis 2030 neu geschaffenen Stellen im Bereich PV um ca. 800 von knapp 5'000 auf gut 4'000. Beim Szenario „1. Massnahmenpaket“ entstehen durch die Kostenreduktion ungefähr 100 Stellen weniger.

Die Berücksichtigung einer Kostenreduktion beim Bau und Betrieb von PV-Anlagen führt somit zu einer leichten Reduktion der Anzahl neu geschaffener Arbeitsplätze – im Szenario „100% Erneuerbar“ von netto 5'700 auf etwa 4'900 neue Stellen.

Die angenommene Reduktion um 2.5% pro Jahr führt zu einer Reduktion der Kosten bis im Jahr 2030 um rund einen Drittel. Es ist schwierig zu beurteilen, ob eine solche Reduktion realistisch ist. Am ehesten kann wohl von einer Kostenreduktion bei den in Serie hergestellten Geräten und weniger bei den Arbeitsstunden für Planung und Installation ausgegangen werden. Da sich vor allem letztere auf die Anzahl Arbeitsplätze in der Schweiz auswirken, erscheint die Annahme konservativ, d.h. die oben erwähnte Verringerung der Anzahl neuer Arbeitsplätze scheint unter den getroffenen Annahmen eher ein Maximum zu sein.

Der aktuelle Boom bei Stromspeichern in Deutschland lässt erwarten, dass in naher Zukunft wohl auch in der Schweiz ein grosser Anteil der neuen PV-Anlagen zusammen mit Batteriespeichern installiert wird. Dies könnte sogar dazu führen, dass der Beschäftigungseffekt trotz abnehmender Kosten für die PV-Anlagen wegen den Stromspeichern grösser als angenommen ausfällt und somit noch mehr neue Stellen geschaffen werden.

6 Diskussion

Der Ausbau der erneuerbaren Energien schafft neue Arbeitsplätze in der Schweiz. Die Resultate aus Abbildung 8 und Abbildung 9 zeigen, dass der Beschäftigungseffekt bei einem Ausbau der erneuerbaren Energien zunimmt. Durch den verstärkten Zubau von erneuerbaren Energien entstehen bei der Energieproduktion wesentlich mehr Stellen, als für den Betrieb der KKW notwendig sind. Eine vollständige Substitution des KKW-Stroms von 24.5 TWh Strom pro Jahr durch erneuerbare Energien bis im Jahr 2030 würde netto zu rund 5'000 bis 6'000 zusätzlichen Arbeitsplätzen in der Schweiz führen.

Am stärksten trägt der Ausbau von PV-Strom zum Beschäftigungseffekt im Szenario „100% Erneuerbar“ bei. Dies liegt auch daran, dass diese Technologie am stärksten ausgebaut werden soll. Eine zweite Betrachtung mit sinkenden Preisen für PV-Anlagen konnte zeigen, dass der Beschäftigungseffekt des Szenarios „100% Erneuerbar“ auch in dieser Situation noch deutlich höher ausfällt als bei den anderen beiden Szenarien. Der Unterschied zwischen den Szenarien liegt dann bei 2'000 bis 3'000 Stellen. Es ist allerdings zu erwarten, dass analog zu Deutschland auch in der Schweiz in Zukunft etwa die Hälfte der neuen PV-Installationen zusammen mit Batteriespeichern ausgestattet werden. Dies könnte die oben beschriebene Reduktion der neuen Stellen infolge Kostenreduktion auch überkompensieren, sodass durch den Bau von PV-Anlagen letztendlich sogar noch mehr neue Stellen geschaffen werden.

Für die Berechnung der Beschäftigungseffekte mussten Annahmen getroffen werden, welche natürlich hinterfragt werden können. Die Abschätzungen des Beschäftigungseffekts basiert häufig auf Daten von einzelnen Jahren, oder auf Daten aus dem Ausland. Diese stellen eine Momentaufnahme dar und können sich im Laufe der Jahre ändern. Zudem konnten nicht alle Aspekte des Beschäftigungseffekts für die unterschiedlichen Technologien berücksichtigt werden, da die Daten dazu nicht verfügbar waren. Dies führte dazu, dass keine einheitliche Methodik für alle Technologien angewendet werden konnte. Bei fehlenden oder als zu unzuverlässig eingestuften Daten wurde der entsprechende Effekt auf die Arbeitsplätze jeweils weggelassen. Dadurch wird der Beschäftigungseffekt unterschätzt, d.h. in Wirklichkeit dürften eher mehr Stellen generiert werden.

Eine Sensitivitätsanalyse mit allen Annahmen zeigte eine erstaunliche Robustheit. Die Resultate erscheinen deshalb vertrauenswürdig, wenn sie als Grössenordnung und nicht als absolute Zahl interpretiert werden.

Der mit Abstand grösste Anteil an neu zu bauenden Anlagen stellen PV-Anlagen dar. Einfachheitshalber wurde angenommen, dass der Zubau für alle Technologien linear über die Zeitachse verläuft. Bei Annahme der AAI könnte die notwendige Anzahl neuer PV-Anlagen in den ersten 2-3 Jahren kaum erreicht werden. Dies würde einem Übergang des Zubaus von heute 0.3 GW auf 1.1 GW pro Jahr entsprechen. Wie rasch der Zubau erhöht werden kann, dürfte insbesondere auch eine Frage der Anreize für Gebäudeeigentümer, Stromversorger und PV-Installateure sein (KEV-Warteschlange, Rücklieferstarife, Markt für HKN bzw. Zertifikate, differenzierte Stromabgabe (Dreckstromabgabe), Strompreise, Umsetzung der Eigenverbrauchsregelung, usw.). Auf den in dieser Studie berechneten *durchschnittlichen* Beschäftigungseffekt dürfte dies aber kaum Auswirkungen haben.

Die vollständige Substitution des KKW-Stroms durch erneuerbare Energien im Jahr 2030 ist machbar. Interessant ist aber nicht nur der Endpunkt des Zubaus im Jahr 2030, sondern auch der zeitliche Verlauf des Stromproduktions-Zubaus aus erneuerbaren Energien und des Produktionsrückgangs durch die Abschaltung der KKW. Abbildung 10 zeigt zu welchen Zeitpunkten die Stromproduktion durch KKW bei einer Annahme der AAI abnimmt (rote Linie) und wie sich der Ausbau der Stromproduktion aus erneuerbaren Energieträgern (farbige Flächen) entwickelt. Da nur das Jahr, aber nicht der exakte Ausschaltzeitpunkt der KKW bekannt ist, wurde der Rückgang der Stromproduktion mit der roten Linie jeweils linear über das Jahr der Ausserbetriebsetzung eingezeichnet. Für den Zubau der erneuerbaren

Energien wurde angenommen, dass ein starker Zubau wie im Szenario „100% Erneuerbar“ erst im Jahr 2017, nach der Annahme der AAI, eintreten würde. Davor wurde der Zubau aus dem Szenario „Minimaler Ausbau“ verwendet. Zusätzlich wurde berücksichtigt, dass die Schweiz in den letzten Jahren mehr Strom exportiert als importiert hat. Dieser Produktions-Überschuss lag dabei zwischen 1 und 5.5 TWh (BFE, 2016c). Deshalb wurde ein Teil der vor 2015 zugebauten Stromproduktion aus erneuerbaren Energien der Substitution des KKW-Stroms angerechnet (lila Fläche mit Bezeichnung „EE Überschuss“). Da die tatsächliche Höhe des Export-Überschusses in den letzten Jahren sehr unterschiedlich war, wird ein gerundeter 5-Jahres-Durchschnitt von 2 TWh eingesetzt. Abbildung 10 verdeutlicht, dass der durch die Ausserbetriebsetzung der drei KKW Beznau I und II sowie Mühleberg ab 2017 wegfallende Atomstrom nur kurzfristig durch Importe aus dem Ausland substituiert werden muss. Bereits ab dem Jahr 2020 könnte genügend Strom aus erneuerbaren Energien produziert werden. Bei der Abschaltung der KKW Gösgen und Leibstadt wäre die Produktion durch erneuerbare Energien jeweils bereits hoch genug, um den Wegfall sofort zu kompensieren.

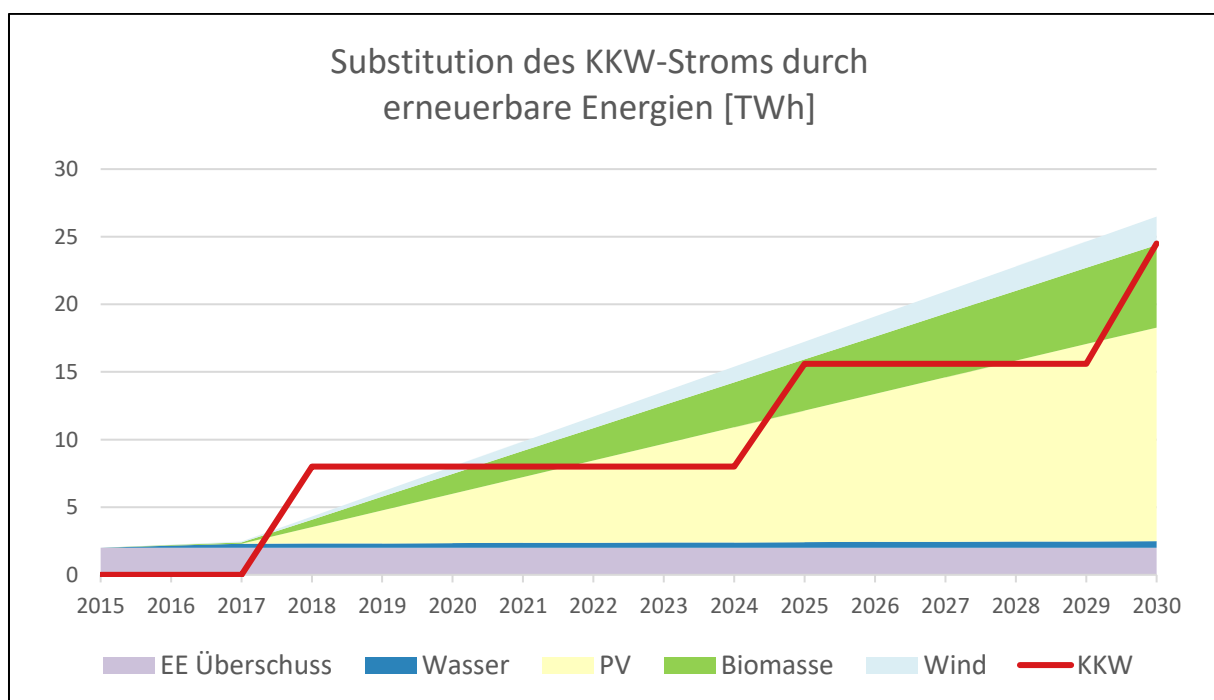


Abbildung 10: Substitution des KKW-Stroms durch erneuerbare Energien. Die rote Linie stellt den wegfallenden Strom aus KKW dar.

Bei diesem starken Zubau von PV-Anlagen bis 2030 stellt sich die Frage, ob dazu auf Schweizer Gebäuden überhaupt die Kapazität vorhanden ist. Die Dachfläche der Schweizer Gebäude liegt bei rund 400 km² (Swiss Cleantech, 2012). Davon ist heute mindestens ein Drittel für PV-Anlagen geeignet (NET Nowak Energie & Technologie AG, 2012). Die Fläche der geeigneten Dachflächen beläuft sich somit auf 133 Mio. Quadratmeter. Mit einem mittleren spezifischen Energieertrag von 965 kWh/kWp (Swissolar, 2016) und 0.18 kWp/m² könnten somit 23 TWh Strom aus PV-Anlagen pro Jahr produziert werden. Bei der hier getroffenen Annahme eines Ausbaus auf 16.9 TWh würde das Dachflächenpotential somit nicht vollständig ausgeschöpft. 75% der gesamten Schweizerischen Dachflächen wären in diesem Szenario immer noch frei von PV-Anlagen. Dass eine jährliche Stromproduktion aus PV-Anlagen von 16.9 TWh durchaus realistisch ist, zeigen auch die Potentialschätzungen von Greenpeace (2013) und Nordmann (2011). Diese gehen von einem Solarstrompotential von 30 TWh bzw. 25 TWh pro Jahr aus.

Zusammenfassend würde durch den PV-Ausbau gemäss dem Szenario „100% Erneuerbar“ bis 2030 nur rund zwei Drittel des bereits heute auf Dächern zu Verfügung stehenden Potentials genutzt. Ein stärkerer PV-Ausbau auf 25 bis 30 TWh pro Jahr wäre demzufolge durchaus möglich, insbesondere auch wenn noch Flächen an Fassaden berücksichtigt werden. Die technische Entwicklung könnte zudem zu höheren Leistungsdichten als die in dieser Überlegung eingesetzten 0.18 kWp pro m² Modulfläche führen, sodass der Flächenbedarf entsprechend geringer ausfallen würde.

Der teilweise Ersatz von Strom aus Kernkraftwerken durch Energieeffizienz-Massnahmen wurde in dieser Studie nicht betrachtet, obwohl dies in aller Regel die kostengünstigste und umweltfreundlichste Variante dargestellt. Zur Förderung von Stromeffizienz-Massnahmen wäre ein wesentlich stärkerer politischer Wille notwendig, als er derzeit vorhanden zu sein scheint. So wurde z.B. die geplante Stromeffizienzverpflichtung für Stromversorger aus dem ursprünglichen Vorschlag im 1. Massnahmenpaket der Energiestrategie 2050 vom Parlament ersatzlos gestrichen. Auf die hier präsentierten Ergebnisse hat dies aber keinen Einfluss, da angenommen wurde, der wegfallende Atomstrom werde zu 100% durch Strom aus erneuerbaren Energien gedeckt.

Abschliessend erscheint die Bemerkung wichtig, dass viele Stellen in der Atomindustrie in der Zeit zwischen 2030 und 2050 sowieso abgebaut werden. Auch wenn die KKW nicht, wie von der AAI gefordert, nach 45 Jahren Laufzeit vom Netz genommen werden, so können sie nicht unendlich lange weiter betrieben werden. Das Abschaltjahr für das KKW Mühleberg ist bereits fix und auch Beznau I und II werden wahrscheinlich um das Jahr 2030 abgeschaltet werden, da sie dann bereits 60 Jahre in Betrieb wären (vgl. Tabelle 2). Die Annahme der AAI führt in diesem Sinne also zu einer zeitlichen Verschiebung des Stellenabbaus.

7 Quellenverzeichnis

- Alpiq. (2013). Wasserkraftwerk Nant de Drance. Retrieved October 24, 2016, from http://www.alpiq.com/de/news-stories/medienmitteilungen/media_releases.jsp?news=tcm:96-95816
- Baier, U. (2016). Persönliche Mitteilung vom 08.09.2016. Prof. und Dozent der ZHAW, Leiter Fachstelle Umweltbiotechnologie.
- Bauer, C. (2007). *Teil IX Holzenergie*. Villigen.
- BFE. (2016a). *Der Photovoltaik-Markt: Marktbeobachtung 2016*. Bern.
- BFE. (2016b). *Energiestrategie 2050 nach der Differenzbereinigung*. Bern.
- BFE. (2016c). *Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2015*. Bern.
- BFE. (2016d). *Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien; Ausgabe 2015 Vorabzug*. Bern.
- BFE. (2016e). *Überprüfung der Gestehungskosten und der Vergütungssätze von KEV-Anlagen*. Bern.
- BFS. (2016a). Erwerbstätigkeit und Arbeitszeit - Indikatoren. Retrieved September 14, 2016, from http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/03/02/blank/key/arbeitszeit0/normale_arbeitszeit.html
- BFS. (2016b). Forstwirtschaft - Indikatoren. Retrieved September 13, 2016, from <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/07/04/blank/key/betriebe.html>
- BFS. (2016c). Holzernte der Schweiz in m3. Retrieved September 13, 2016, from https://www.pxweb.bfs.admin.ch/Selection.aspx?px_language=de&px_db=px-x-0703010000_102&px_tableid=px-x-0703010000_102\px-x-0703010000_102.px&px_type=PX
- BKW Energie AG. (2016). *Stilllegung des Kernkraftwerks Mühleberg; Hauptbericht - Stilllegungsbericht*. Bern.
- Blanco, M. I., & Rodrigues, G. (2009). Direct employment in the wind energy sector: An EU study. *Energy Policy*, 37(8), 2847–2857. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.02.049>
- Das Schweizer Parlament. (2015). Ständerat - Herbstsession 2015 - Neunte Sitzung - 21.09.15. Retrieved September 27, 2016, from <https://www.parlament.ch/de/ratsbetrieb/amtliches-bulletin/amtliches-bulletin-die-verhandlungen?SubjectId=36003>
- Der Schweizerische Bundesrat. (2013). *Botschaft zum ersten Massnahmenpaket der Energiestrategie 2050 und zur Volksinitiative "Für den geordneten Ausstieg aus der Atomenergie (Atomausstiegsinitiative)." Bern.*
- Energie Zukunft Schweiz. (2016). *PV-Preisumfrage 2015*. Basel.
- EnergieSchweiz. (2014). *Newsletter Kleinwasserkraft*.
- ENSI. (2016). Kernkraftwerke in der Schweiz. Retrieved October 17, 2016, from <https://www.ensi.ch/de/themen/kernkraftwerke-schweiz/>
- Fachverband Biogas. (2013). *Branchenzahlen - Prognose 2013/2014*. Freising.

- Foratom. (2015). Arbeitsplätze in der Nuklearindustrie. Retrieved August 8, 2016, from <http://www.foratom.org/publications/topical-publications/8649-europe-wide-jobs-map/file.html>
- Forstbetrieb Winterthur. (n.d.). Holzschnitzel. Retrieved October 24, 2016, from <http://holzshop.forstbetrieb.winterthur.ch/webshop/Holzschnitzel-lufttrocken>
- Greenpeace. (2013). *Zahlen und Fakten zur Solarenergie*. Zürich.
- Grüne Partei Schweiz. (n.d.). *Inhalt der Initiative Atomausstiegsagenda 2029*.
- Honegger, L. (2013, April 23). Die Axpo treibt den Preis für das AKW Beznau in die Höhe. *Limmattaler Zeitung*. Dietikon.
- IÖW, & ZEE. (2010). *Kommunale Wertschöpfung durch Erneuerbare Energien*. Berlin.
- Juvent SA. (2016). Windkraftwerk Juvent. Retrieved October 24, 2016, from <http://www.juvent.ch/fotogalerie.html>
- Keel, A. (2013). *STANDORTEVALUATION HOLZ-WKK*. Ittigen.
- kernenergie. (2014). Kernenergie weltweit. Retrieved October 18, 2016, from <https://www.kernenergie.ch/de/strom-aus-kernenergie/kernenergie-weltweit.html>
- Kernkraftwerk Leibstadt AG. (n.d.). KKW Leibstadt. Retrieved October 24, 2016, from <https://www.kkl.ch/besucherangebote/infozentrum/lage-und-anreise.html>
- Lehr, U., Edler, D., O'Sullivan, M., Peter, F., & Bickel, P. (2015). *Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland: Ausbau und Betrieb, heute und morgen. gws, DLR, DIW, Prognos, ZSW*. Osnabrück, Berlin, Stuttgart.
- Lüthi, F. (2014). Wind wie an der Meeresküste. *Energiea*, 6, 6.
- nachhaltig leben. (n.d.). PV-Module. Retrieved October 24, 2016, from <http://www.nachhaltigleben.ch/themen/nachhaltig-bauen/sanieren-renovieren/photovoltaik/photovoltaikanlagen-markt-waechst-547>
- NET Nowak Energie & Technologie AG. (2012). *Potenzialabschätzung zum solarthermischen Beitrag zur Wärmeversorgung im schweizerischen Wohngebäudepark*. Bern.
- Nordmann, R. (2011). *Nach Fukushima: 20 Prozent Solarstrom für die Schweiz bis 2025*.
- Odrich, P. (2016). Das sind die 9 grössten Windradhersteller der Welt. Retrieved September 13, 2016, from <http://www.ingenieur.de/Fachbereiche/Windenergie/Das-9-groessten-Windradhersteller-Welt>
- Prognos. (2012a). *Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050*. Basel.
- Prognos. (2012b). *Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050 Anhang III*. Basel.
- Prognos. (2013). *Energieperspektiven 2050: Sensitivitätsanalysen Photovoltaik - Ergebnisse der Modellrechnungen*. Basel.
- pwc. (2011). Le poids socio-économique de l'électronucléaire en France. Retrieved August 8, 2016,

from

http://ehron.jrc.ec.europa.eu/sites/ehron/files/documents/public/le_poids_socioeconomique_de_l_electronucleaire_en_france.pdf

- Rohrer, J., & Sperr, N. (2017). *Regionale Wertschöpfung von PV-Anlagen (unveröffentlicht)*. Wädenswil.
- Rütter+Partner, Ernst Basler+Partner, & Fraunhofer ISI. (2013). *Volkswirtschaftliche Bedeutung erneuerbarer Energien in der Schweiz*. Bern.
- Rütter+Partner, Ernst Basler+Partner, & Fraunhofer ISI. (2013). *Volkswirtschaftliche Bedeutung erneuerbarer Energien in der Schweiz*. Bern.
- RWE Power Aktiengesellschaft. (2016). Laufende Genehmigungsverfahren für Stilllegung und Abbau auf der Zielgeraden. Retrieved August 11, 2016, from <http://www.rwe.com/web/cms/mediablob/de/3121828/data/2725200/1/rwe-power-ag/energetraeger/kernkraft/kkw-biblis/informations-initiative-kw-biblis-transparent/Pressemitteilung-Laufende-Genehmigungsverfahren-fuer-Stilllegung-und-Abbau-auf-der-Zielgeraden.pdf>
- Schweizer Wirtschaft für die Energiestrategie 2050. (n.d.). Dranbleiben schafft Wohlstand. Retrieved October 19, 2016, from <https://www.es2050.ch/de/gute-gruende/dranbleiben-schafft-wohlstand.html>
- Schweizerische Eidgenossenschaft. (2016). *Eidgenössische Volksinitiative "Für den geordneten Ausstieg aus der Atomenergie (Atomausstiegsinitiative)"*. Bern.
- Schweizerische Vereinigung für Geothermie. (n.d.). *Strom und Wärme aus Geothermie in der Schweiz*. Frauenfeld.
- Scruzzi, D. (2013, April 20). Forderungen der AKW-Betreiber könnten Milliardengrenze überschreiten. *NZZ*. Zürich.
- Strom-Report. (2016). Windenergie in Deutschland 2015. Retrieved September 6, 2016, from <http://strom-report.de/windenergie/>
- suisse-éole. (2016). Windenergie; statistik (ch / international). Retrieved September 7, 2016, from <http://www.suisse-eole.ch/de/windenergie/statistik/>
- SVP. (2016a). SVP Fraktion lehnt Energiestrategie 2050 ab. Retrieved October 19, 2016, from <https://www.svp.ch/aktuell/medienmitteilungen/svp-fraktion-lehnt-energiestrategie-2050-ab/>
- SVP. (2016b). Überparteiliches Komitee ergreift Referendum gegen das Energiegesetz. Retrieved October 12, 2016, from <https://www.svp.ch/aktuell/medienmitteilungen/ueberparteiliches-komitee-ergreift-referendum-gegen-das-energiegesetz/>
- Swiss Cleantech. (2012). *Die Entwicklung der Photovoltaik; Hintergrundbericht zur Cleantech Energiestrategie*.
- Swissgrid. (2016). *KEV-Vergütungssätze gültig für neue Bescheide*.
- swissnuclear. (n.d.). Die Schweizer Kernkraftwerke. Retrieved August 8, 2016, from

http://www.swissnuclear.ch/de/schweizer-kernkraftwerke-_content---1--1017.html

swissnuclear. (2009). *Kostenstudie 2006 (KSO6) Aktualisierung der Stilllegungskosten*.

swissnuclear. (2011a). *Kostenstudie 2011 (KS11) Schätzung der Kosten der Nachbetriebsphase der Schweizer Kernkraftwerke*.

swissnuclear. (2011b). *Kostenstudie 2011 (KS11) Schätzung der Stilllegungskosten der Schweizer Kernanlagen* (Vol. 2011). Olten.

Swissolar. (2016). *Markterhebung Sonnenenergie 2015*. Bern.

Umweltallianz. (2012). *Strommix 2035 100 Prozent einheimisch erneuerbar effizient*. Bern.

Umweltallianz. (2014). *Faktenblatt Biomasse*. Bern.

8 Abbildungs- Tabellen- und Formelverzeichnis

Abbildung 1: Tatsächliche Stromproduktion der Schweiz im Jahr 2015	4
Abbildung 2: Durchschnittliche Leistung der neu installierten onshore Windkraftanlagen in Deutschland (Strom-Report, 2016)	7
Abbildung 3: Übersicht über die drei Stromproduktions-Szenarien für das Jahr 2030	8
Abbildung 4: Zubau der erneuerbaren Energien für das Szenario „100% Erneuerbar“ in 5-Jahres-Schritten	9
Abbildung 5: Prozentuale Aufteilung der Investitionskosten einer PV-Netzverbundanlage (Rohrer & Sperr, 2017)	11
Abbildung 6: Arbeitsstunden pro m ³ geerntetes Holz (BFS, 2016b)	14
Abbildung 7: Beschäftigte der Nuklearindustrie in Europa (Foratom, 2015).....	15
Abbildung 8: Anzahl neue bzw. wegfallende Arbeitsplätze	19
Abbildung 9: Anzahl neue bzw. wegfallende Arbeitsplätze bei abnehmenden Kosten für PV-Anlagen	20
Abbildung 10: Substitution des KKW-Stroms durch erneuerbare Energien. Die rote Linie stellt den wegfallenden Strom aus KKW dar.....	23
Tabelle 1: Übersicht über die Grundlagen der drei erstellten Szenarien.....	2
Tabelle 2: Übersicht über die 5 Schweizer KKW: Inbetriebnahme, mögliche Abschaltzeiten und durchschnittliche Produktion	4
Tabelle 3: Stromproduktion im Szenario „Minimaler Ausbau“	5
Tabelle 4: Stromproduktion aus erneuerbaren Energien für das Szenario „1. Massnahmenpaket“	6
Tabelle 5: Zubau von erneuerbaren Energien für das Szenario „100% Erneuerbar“	7
Tabelle 6: Strommix für das Szenario „100% Erneuerbar“	8
Tabelle 7: Grösse der 2015 zugebauten PV-Netzverbundanlagen und dazugehöriger Referenzkosten der KEV.....	10
Tabelle 8: Personalkosten beim Bau von 1 kWp einer Standard-Anlage und die resultierenden Beschäftigungsfaktoren	11
Tabelle 9: Anzahl Mitarbeitende in den Schweizer KKW (swissnuclear, n.d.)	16
Tabelle 10: Mitarbeitende in Schweizer KKW bei einer Laufzeit von 60 Jahren.....	17
Tabelle 11: Mitarbeitende in Schweizer KKW bei einer Laufzeit von 45 Jahren.....	18
Formel 1: Berechnung des einmaligen Beschäftigungsfaktors für PV-Anlagen	10