

Zürcher Hochschule
für Angewandte Wissenschaften



Life Sciences und
Facility Management

IUNR Institut für Umwelt und
Natürliche Ressourcen

Wie wahrscheinlich sind Stromimporte für die Schweiz bis ins Jahr 2030?

Rohrer Jürg, Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen IUNR, ZHAW Wädenswil, 2016

Kontakt:

Jürg Rohrer
ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen IUNR
Forschungsgruppe Erneuerbare Energien
Campus Grüental, 8820 Wädenswil
www.zhaw.ch/iunr/erneuerbareenergien/

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

Zusammenfassung

In der Schweiz sollen gemäss der Energiestrategie 2050 keine neuen Kernkraftwerke (KKW) gebaut werden. Die bestehenden Anlagen sind zwischen 32 und 47 Jahre alt und müssen in absehbarer Zeit vom Netz genommen werden. Im Gegensatz zu anderen Ländern hat die Schweiz keine fixen Jahre für die Ausserbetriebnahme festgelegt. Das eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI kann verfügen, dass Werke vom Netz gehen müssen, wenn die Sicherheit nicht mehr gewährleistet ist. Zudem können die Betreiber die Anlagen grundsätzlich auch freiwillig vom Netz nehmen. Dies führt letztendlich zu einer relativ grossen Unsicherheit bezüglich des Zeitpunktes der Ausserbetriebnahme des Schweizer KKW-Parks.

Im Vorfeld der Abstimmung über die Atomausstiegsinitiative, welche konkrete Ausschaltjahre vorgibt, ist eine intensive Diskussion über den allfälligen Import von Strom aus dem Ausland entstanden. Die vorliegende Arbeit untersucht deshalb, in welchem Umfang und mit welcher Geschwindigkeit Strom aus erneuerbarer Energie in der Schweiz zugebaut werden müsste, um bei Annahme bzw. Ablehnung der Atomausstiegsinitiative den wegfallenden KKW-Strom 1:1 durch Strom aus erneuerbaren Quellen ersetzen zu können. Zudem wird die Wahrscheinlichkeit eines Stromimportes bei drei bekannten Szenarien miteinander verglichen. Dazu werden die Unsicherheiten mit Verteilungsdichtefunktionen modelliert und Monte-Carlo-Simulationen durchgeführt.

Die Simulationen zeigen: Wenn die Schweiz in Zukunft Stromimporte vermeiden will, sollte der Ausbau der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien stark vorangetrieben werden. Für den vollständigen Ersatz des KKW-Stromes ist bei Annahme der Atomausstiegsinitiative bis 2030 ein Zubau um ca. 22 bis 24 TWh Strom pro Jahr erforderlich (je nachdem ob die heutigen Export-Überschüsse berücksichtigt werden oder nicht).

Die Berechnungen zeigen aber auch, dass bei Ablehnung der Atomausstiegsinitiative nicht weniger stark zugebaut werden muss: Bei einem Zubau von Strom aus erneuerbaren Energien bis 2030 auf 15 bis 17 TWh besteht eine 30%ige Wahrscheinlichkeit, dass trotzdem Importe notwendig sind. Will man diese Unsicherheit verkleinern, muss die Stromproduktion auch bei einer Ablehnung der Atomausstiegsinitiative bis 2030 auf 22 bis 24 TWh Strom pro Jahr ausgebaut werden.

Die Energiestrategie 2050 des Bundes sieht derzeit einen Ausbau der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien bis 2035 auf 11.4 TWh pro Jahr vor. Rechnet man mit einem jährlich gleichmässigen Zubau, würde im Jahr 2030 nur 8.6 TWh zur Verfügung stehen. Dies würde mit 80%iger Wahrscheinlichkeit auch bei Ablehnung der Atomausstiegsinitiative bis 2030 und darüber hinaus zu Stromimporten in erheblichem Umfang führen.

Wenn Stromimporte in Zukunft verhindert oder auf geringem Niveau gehalten werden sollen, besteht sehr grosser Handlungsbedarf im Bereich Stromeffizienz und Ausbau der Erneuerbaren. Die heute bekannten Zielsetzungen und Massnahmen des Bundes genügen dazu bei weitem nicht.

Inhalt

	Zusammenfassung.....	1
1	Einleitung und Zielsetzung.....	3
2	Ausgangslage	3
3	Berechnung der Stromimporte für die Szenarien	4
3.1	Stromimporte im Szenario «100% Erneuerbar»	4
3.2	Stromimporte für die Szenarien «Minimaler Ausbau» und «1. Massnahmenpaket»	4
3.2.1	Stromimporte im Szenario «Minimaler Ausbau».....	8
3.2.2	Stromimporte im Szenario «1. Massnahmenpaket».....	8
3.3	Zwischenfazit	9
3.4	Vorzeitige Ausserbetriebnahme der KKW bei Annahme der AAI	9
4	Zubau von Strom aus erneuerbaren Energien für den sofortigen Ersatz des KKW-Stroms	11
5	Schlussfolgerungen.....	13
6	Literaturverzeichnis	14

1 Einleitung und Zielsetzung

Im Vorfeld der Abstimmung zur Atomausstiegsinitiative (AAI) in der Schweiz wird diskutiert, ob bei einer Annahme der AAI grosse Mengen Strom importiert werden müssten. Es scheint in weiten Kreisen eine Abneigung gegenüber dem Import von Strom aus dem Ausland zu herrschen.

In dieser Studie wird aufgezeigt, wie stark und mit welcher Geschwindigkeit die Stromproduktion bis ins Jahr 2030 bei Annahme bzw. Ablehnung der AAI ausgebaut werden müsste, um den bei der Ausserbetriebnahme der Kernkraftwerke (KKW) wegfallenden Strom jeweils ohne Importe durch einheimischen, erneuerbaren Strom oder Effizienzmassnahmen ersetzen zu können.

Zudem werden die in Sperr & Rohrer (2016) definierten Szenarien des Zubaus von Strom aus erneuerbaren Energiequellen in den kommenden 14 Jahren bezüglich der Wahrscheinlichkeit für Stromimporte miteinander verglichen. Die Unsicherheit des Ausschaltzeitpunkts für die einzelnen KKW wird mit probabilistischer Modellierung (Monte-Carlo-Simulationen) berücksichtigt.

2 Ausgangslage

Im Rahmen der Studie «Beschäftigungseffekte des geordneten Atomausstiegs in der Schweiz» (Sperr & Rohrer, 2016) wurde anhand von drei unterschiedlichen Szenarien die Schaffung bzw. Streichung von Arbeitsplätzen im Zusammenhang mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien und der Abschaltung der Kernkraftwerke untersucht. Die drei Szenarien sind:

- Minimaler Ausbau:
Unter den Annahme, dass weder die Atomausstiegsinitiative (AAI) noch die Energiestrategie 2050 vom Volk angenommen werden, führt dieses Szenario die aktuelle Entwicklung weiter. Im Jahre 2030 würde 5 TWh Strom aus PV, Windkraft und Biomasse, sowie 41.8 TWh aus Wasserkraft produziert (Sperr & Rohrer, 2016).
- 1. Massnahmenpaket:
Die Stromproduktion wird gemäss dem 1. Massnahmenpaket der Energiestrategie 2050 angepasst. Im Jahre 2030 würde 8.6 TWh Strom aus PV, Windkraft und Biomasse, sowie 42.7 TWh aus Wasserkraft produziert (Sperr & Rohrer, 2016).
- 100% Erneuerbar:
Die Atomkraftwerke werden nach Annahme der Atomausstiegsinitiative bis 2030 vom Netz genommen und vollständig mit erneuerbaren Energien ersetzt. Im Jahre 2030 würde 27.9 TWh Strom aus PV, Windkraft und Biomasse, sowie 40 TWh aus Wasserkraft produziert (Sperr & Rohrer, 2016).

Bei allen drei Szenarien wurde ein linearer Ausbau der Kapazitäten der erneuerbaren Energien ab 2017 bis 2029 angenommen und der Endstrombedarf der Schweiz wurde in Anlehnung an die Szenarien von Prognos (2012a, 2012b, 2013) als konstant angenommen, sodass nur der Strom aus den jeweils ausgeschalteten KKW ersetzt werden muss.

3 Berechnung der Stromimporte für die Szenarien

3.1 Stromimporte im Szenario «100% Erneuerbar»

Tabelle 1 zeigt die Stromproduktion der Schweizer KKW unter der Annahme, dass die AAI angenommen und die KKW wie geplant vom Netz genommen werden. Der lineare Ausbau der erneuerbaren Energien führt dazu, dass nur gerade in den Jahren 2018 (3.7 TWh) und 2019 (1.9 TWh) insgesamt 5.6 TWh Strom importiert werden müsste. In allen anderen Jahren wäre kein Import von Strom notwendig. Im Durchschnitt der beiden Jahre muss somit ca. 2.8 TWh pro Jahr importiert werden, was jeweils ca. 4.5% des Jahresbedarfes an Endenergie entspricht. Bezogen auf den gesamten Strombedarf der Jahre 2017 bis 2030 stellt der Import im Szenario «100% Erneuerbar» nur 0.7% des Strombedarfes dar. In Abb. 1 wird der Zubau von Strom aus erneuerbarer Energie mit Flächen, der von der Stilllegung der KKW wegfallende Strom als rote Linie dargestellt.

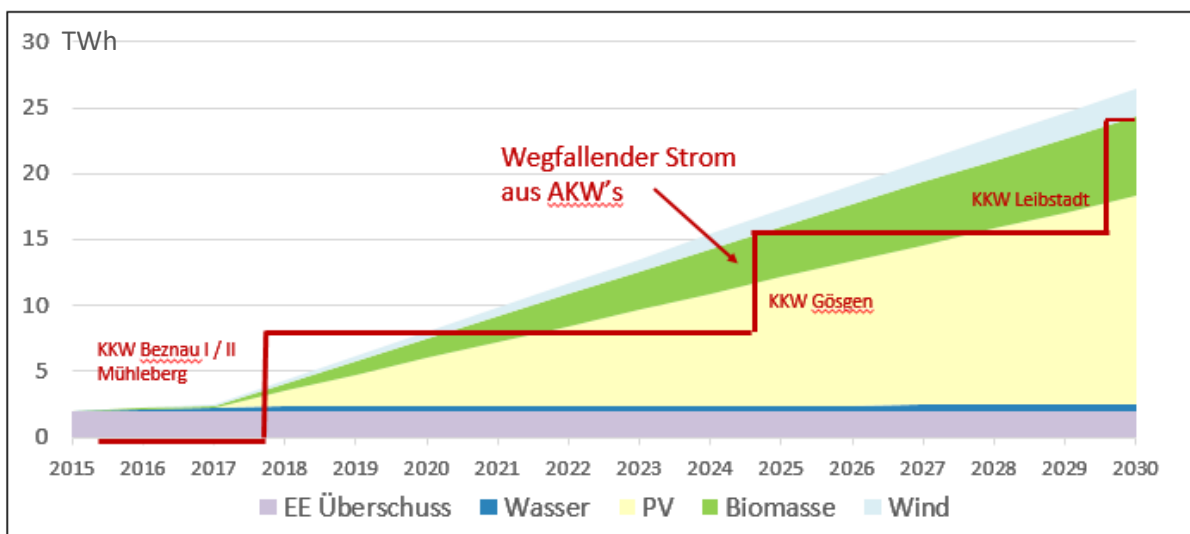


Abbildung 1: Zubau von Strom aus erneuerbarer Energie (farbige Flächen) und durch die Stilllegung der KKW zu ersetzender Strom (rote Linie) im Szenario «100% Erneuerbar». Angepasst aus Sperr & Rohrer (2016).

3.2 Stromimporte für die Szenarien «Minimaler Ausbau» und «1. Massnahmenpaket»

Bei diesen Szenarien steht nur das Ausschaltjahr für das KKW Mühleberg fest (2019). Die anderen KKW werden entweder durch die Betreiber irgendwann freiwillig oder auf Verfügung des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats ENSI vom Netz genommen. Die «freiwillige» Ausserbetriebnahme kann begünstigt werden, z.B. durch öffentlichen Druck infolge Unfällen an anderen KKW oder weil die fortlaufenden Betriebsverluste nicht mehr tragbar sind. Für die nachfolgenden Berechnungen wurden folgende Annahmen getroffen:

- Die maximale Laufzeit der Schweizer KKW beträgt 60 Jahre.
- Das KKW Mühleberg wird spätestens 2019 vom Netz genommen.
- Die Wahrscheinlichkeit für die Ausserbetriebnahme des KKW ist für jedes Jahr zwischen 2017 und dem 60. Betriebsjahr des KKW gleich gross. Dies entspricht einer eher konservativen

Annahme, da damit die Ausfallwahrscheinlichkeit eines KKW mit zunehmendem Alter *nicht* steigt, sondern konstant angenommen wird (siehe Abb. 2 bis 6).

Die Unsicherheit bezüglich des Datums der Ausserbetriebnahme wird mit diskreten Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen abgebildet. Abbildung 1 zeigt für das Werk Beznau I beispielhaft die Annahme der Wahrscheinlichkeit für eine Ausserbetriebnahme zwischen den Jahren 2016 und 2029. Beznau I wurde 1969 in Betrieb genommen und würde bei der Annahme einer maximalen Betriebszeit von 60 Jahren spätestens 2029 vom Netz gehen. Dabei wurde für jedes einzelne Jahr der 13 Jahre zwischen 2017 und 2029 dieselbe Wahrscheinlichkeit von $1/13$ angenommen, dass Beznau I im betreffenden Jahr vom Netz gehen wird.

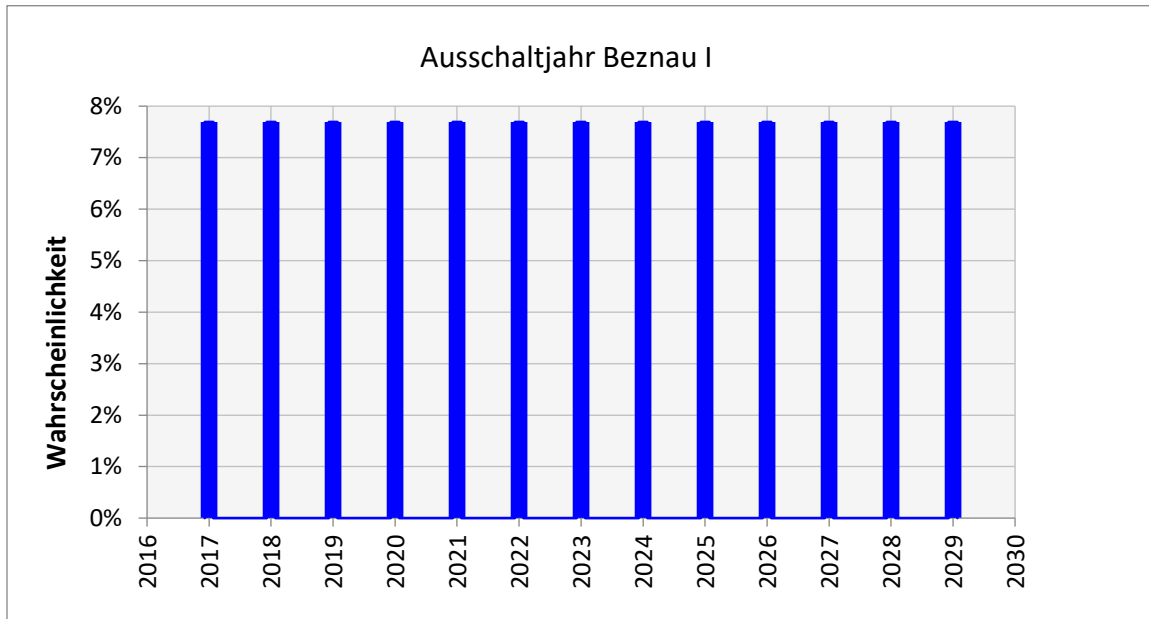


Abbildung 2: Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion für das Jahr der Ausserbetriebnahme des KKW Beznau I bei Annahme einer maximalen Betriebszeit von 60 Jahren.

Tabelle 1: Stromproduktion der KKW und der neu zugebauten erneuerbaren Energien im Szenario «100% Erneuerbar». Bei der Berechnung der erforderlichen Importe wurde der bereits heute vorhandene Exportüberschuss von durchschnittlich 2 TWh pro Jahr eingerechnet.

Jahr / KKW	Beznau I	Beznau II	Mühleberg	Gösgen	Leibstadt	Summe Atomstrom	Produktion Erneuerbare	Import
2017	2.4	2.7	2.9	7.6	9	24.6	2.46	0.00
2018	0	0	0	7.6	9	16.6	4.31	3.69
2019	0	0	0	7.6	9	16.6	6.15	1.85
2020	0	0	0	7.6	9	16.6	8.00	0.00
2021	0	0	0	7.6	9	16.6	9.85	0.00
2022	0	0	0	7.6	9	16.6	11.70	0.00
2023	0	0	0	7.6	9	16.6	13.55	0.00
2024	0	0	0	7.6	9	16.6	15.40	0.00
2025	0	0	0	0	9	9	17.25	0.00
2026	0	0	0	0	9	9	19.10	0.00
2027	0	0	0	0	9	9	20.94	0.00
2028	0	0	0	0	9	9	22.79	0.00
2029	0	0	0	0	9	9	24.64	0.00
2030	0	0	0	0	0	0	26.49	0.00

Abbildungen 3 bis 6 zeigen die entsprechenden Annahmen für die Wahrscheinlichkeit des Ausschaltjahres (diskrete Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen) für die KKW Beznau II, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt.

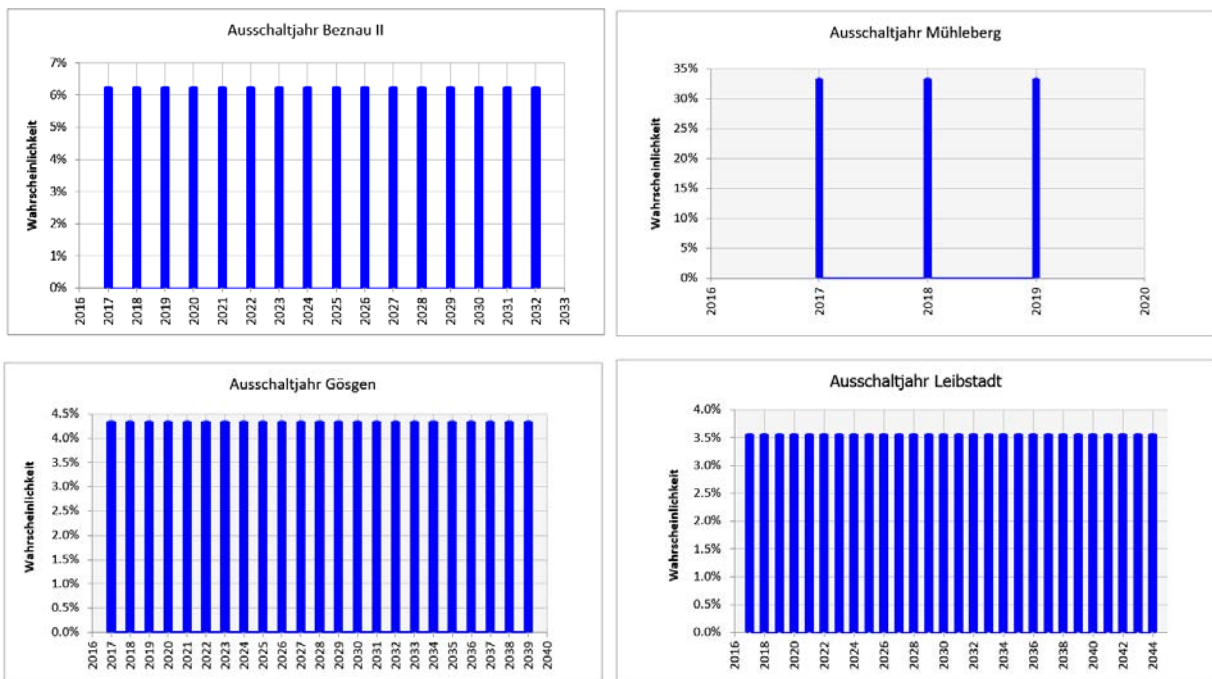


Abbildung 3 bis 6: Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion für das Jahr der Ausserbetriebnahme der KKW Beznau II, Mühleberg, Gösgen und Leibstadt.

Mit diesen Annahmen wurden 100'000 Monte-Carlo-Simulationen durchgeführt. Bei jeder dieser Simulationen wurden folgende Schritte durchgeführt:

1. Zufällige Wahl des Ausschaltjahres für alle KKW entsprechend den Wahrscheinlichkeiten von Abb. 2 bis 6.
2. Berechnung der Produktion des Atomstroms für jedes Jahr zwischen 2017 und 2030 anhand der KKW, welche dann noch am Netz sind.
3. Berechnung des Importstromes für alle Jahre x zwischen 2017 und 2030 nach der Formel $\text{Importstrom} = \max. (\text{Atomstromproduktion}_{\text{alt}} - \text{Exportüberschuss} - \text{Produktion Atomstrom im Jahre } x - \text{Produktion aus erneuerbaren Quellen im Jahr } x, 0)$. Dabei beträgt die Atomstromproduktion_{alt} 24.6 TWh und der Exportüberschuss 2 TWh (siehe oben). Bei der «Produktion aus erneuerbaren Quellen im Jahr x » wird die Produktion aus den zwischen 2017 und dem Jahr x neu zugebauten Anlagen gerechnet.
4. Der Importstrom für die Jahre 2017 bis 2030 wird aufsummiert und für die spätere Auswertung gespeichert.

Die Ergebnisse für den Importstrom in allen Simulationen gemäss Punkt 4 oben wurden danach statistisch ausgewertet und als Verteilungsfunktion dargestellt (Abb. 7 und 8). Zusätzlich kann für die beiden Szenarien «Minimaler Ausbau» und «1. Massnahmenpaket» die Wahrscheinlichkeit berechnet werden, dass der zu importierende Strom grösser sein wird als im Szenario «100% Erneuerbar».

3.2.1 Stromimporte im Szenario «Minimaler Ausbau»

Abb. 7 zeigt, dass die Menge an Importstrom im Szenario «Minimaler Ausbau» zwischen 0 und 290 TWh schwankt. Der Mittelwert beträgt 95 TWh und die Standardabweichung 57 TWh. Die Unsicherheit bezüglich der Höhe der Importe ist in diesem Szenario sehr gross. Die Wahrscheinlichkeit, dass der Importstrom im Szenario «Minimaler Ausbau» geringer ausfällt als im Szenario «100% Erneuerbar» (5.6 TWh) beträgt weniger als 1%. Der Hauptgrund dafür ist der langsame Ausbau der Stromproduktion aus erneuerbaren Quellen. Dadurch steht bei der Stilllegung von KKW nicht genügend Kapazität als Ersatz bereit.

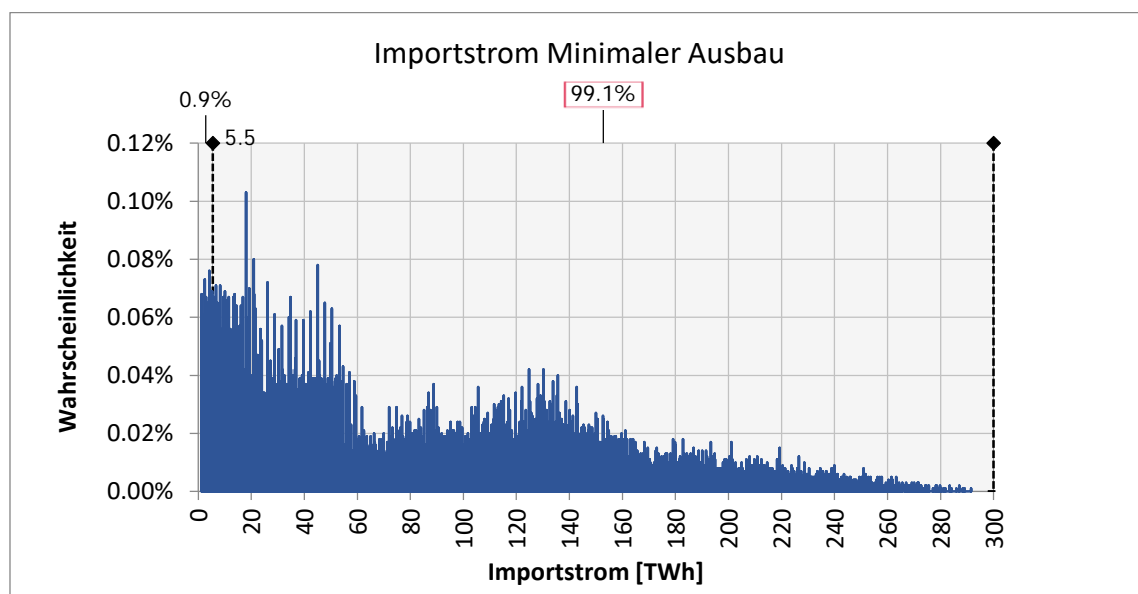


Abbildung 7: Verteilungsdichtefunktion des Importstroms bis 2030 beim Szenario «Minimaler Ausbau».

3.2.2 Stromimporte im Szenario «1. Massnahmenpaket»

Abb. 8 zeigt die Verteilungsdichtefunktion für Importstrom bis 2030 im Szenario «1. Massnahmenpaket». Der Mittelwert beträgt 64 TWh und die Standardabweichung 52 TWh. Die Unsicherheit bezüglich der Höhe der Importe ist in diesem Szenario ähnlich gross wie im Szenario «Minimaler Ausbau». Die Wahrscheinlichkeit, dass der Importstrom im Szenario «1. Massnahmenpaket» geringer ausfällt als im Szenario «100% Erneuerbar» (5.6 TWh) beträgt 14%. Umgekehrt formuliert ist die Wahrscheinlichkeit 86%, dass unter diesen Annahmen im Szenario «1. Massnahmenpaket» mehr Strom importiert werden muss als im Szenario «100% Erneuerbar».

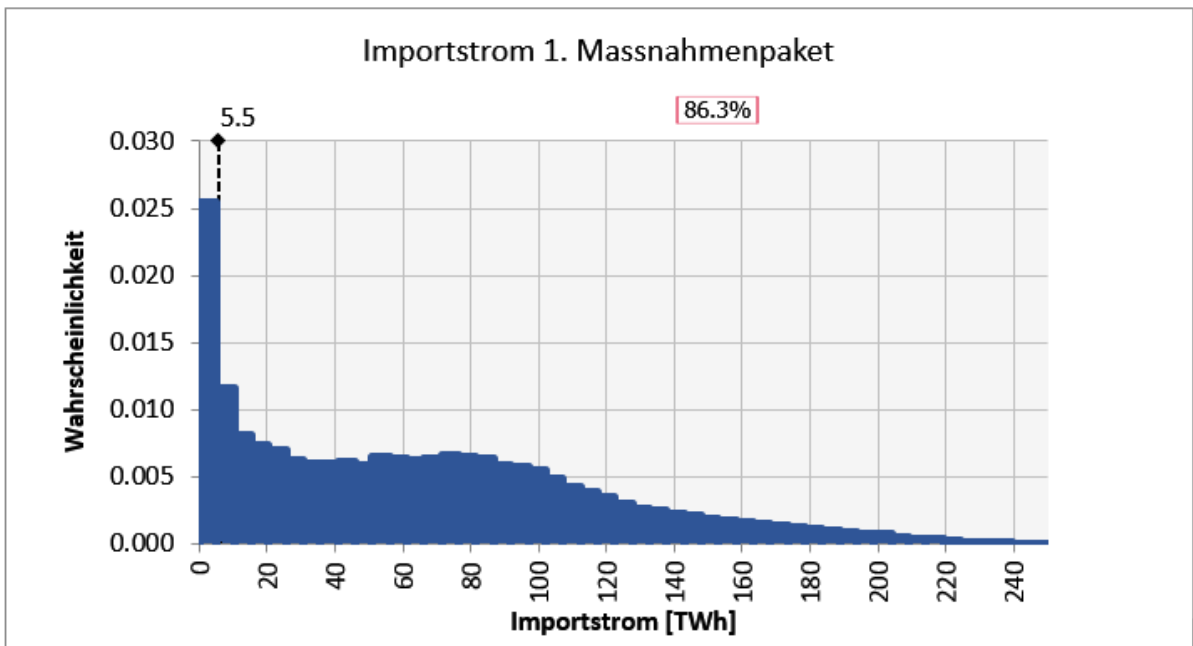


Abbildung 8: Verteilungsdichtefunktion des Importstroms bis 2030 beim Szenario «1. Massnahmenpaket»

3.3 Zwischenfazit

Selbst bei Umsetzung des 1. Massnahmenpaketes der Energiestrategie 2050 ist die Wahrscheinlichkeit nur 14%, dass weniger Strom importiert werden muss als bei der Annahme der AAI und entsprechendem linearen Ausbau der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien (Szenario «100% Erneuerbar»).

Die Wahrscheinlichkeit ist 6 Mal grösser, dass bei Annahme der AAI und entsprechendem Ausbau der erneuerbaren Energien weniger Strom importiert werden muss als bei Ablehnung der AAI und Ausbau der erneuerbaren Stromproduktion gemäss dem 1. Massnahmenpaket der Energiestrategie 2050.

3.4 Vorzeitige Ausserbetriebnahme der KKW bei Annahme der AAI

Auch bei einer Annahme der AAI werden die KKW nicht zwingend gemäss den Vorschlägen der AAI vom Netz genommen. Die Betreiber können sie entweder freiwillig oder auf Verfügung des ENSI bereits früher vom Netz nehmen. Wenn wenige Jahre vor dem zwingenden Betriebsende noch teure Reparaturarbeiten notwendig werden sollten, würde das betreffende KKW wohl früher ausgeschaltet. Dies könnte bei den KKW Gösgen und Leibstadt Auswirkungen auf die Höhe des Importstroms im Szenario «100% Erneuerbar» haben. Deshalb wurde dieses Szenario in der Folge mit flexiblen Ausschaltzeiten simuliert. Dabei wurden folgende Annahmen getroffen:

Das Ausschaltjahr wird für die Werke Gösgen und Leibstadt durch eine geometrische Verteilungsdichtefunktion beschrieben. Die Wahrscheinlichkeit, dass das Werk im letzten Jahr gemäss AAI (2024 bzw. 2029) aus dem Netz geht, beträgt 50%. Die Wahrscheinlichkeit, dass es bereits 1 Jahr früher vom

Netz geht, beträgt 25%, 2 Jahre früher 12.5%, usw. Die Abbildungen 9 und 10 zeigen die entsprechenden Wahrscheinlichkeiten der Ausserbetriebnahme für die noch verbleibenden Betriebsjahre.

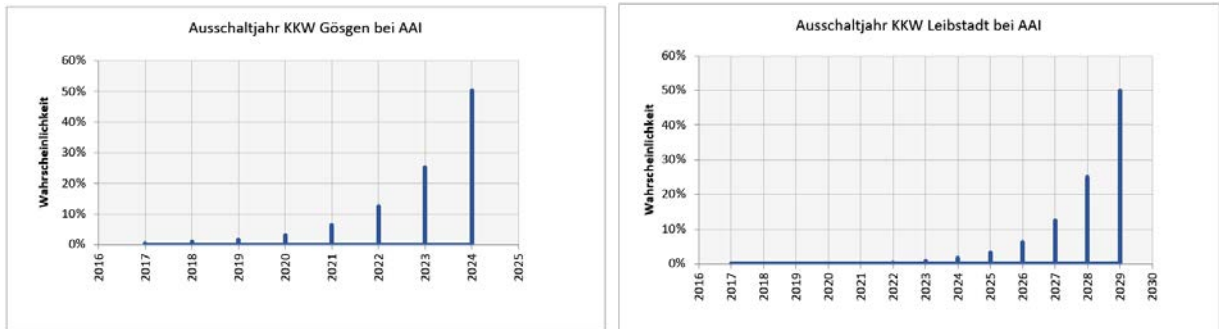


Abbildung 9 und 10: Verteilungsdichtefunktion für das Ausschaltjahr die KKW Gösgen bzw. Leibstadt

Setzt man für die drei KKW Beznau I + II sowie Mühleberg das Jahr 2017 und für Gösgen bzw. Leibstadt das Ausschaltjahr gemäss den Abbildungen 9 bzw. 10 in die Simulation ein, so ergibt sich die in Abb. 11 gezeigte Verteilungsdichtefunktion für den gesamten Importstrom zwischen 2017 und 2030. Der Mittelwert beträgt 10.6 TWh, die Standardabweichung 7.9 TWh. Tabelle 2 zeigt die entsprechenden statistischen Kennzahlen für alle drei Szenarien.

Das Szenario «100% Erneuerbar» weist bei Berücksichtigung einer eventuell frühzeitigen Ausserbetriebnahme der KKW Gösgen und Leibstadt mit einer Wahrscheinlichkeit von 82% einen geringeren Importstrom als das Szenario «1. Massnahmenpaket» und mit einer Wahrscheinlichkeit von 97% einen geringeren Importstrom als das Szenario «Minimaler Ausbau» auf (siehe auch Abb. 7 und 8).

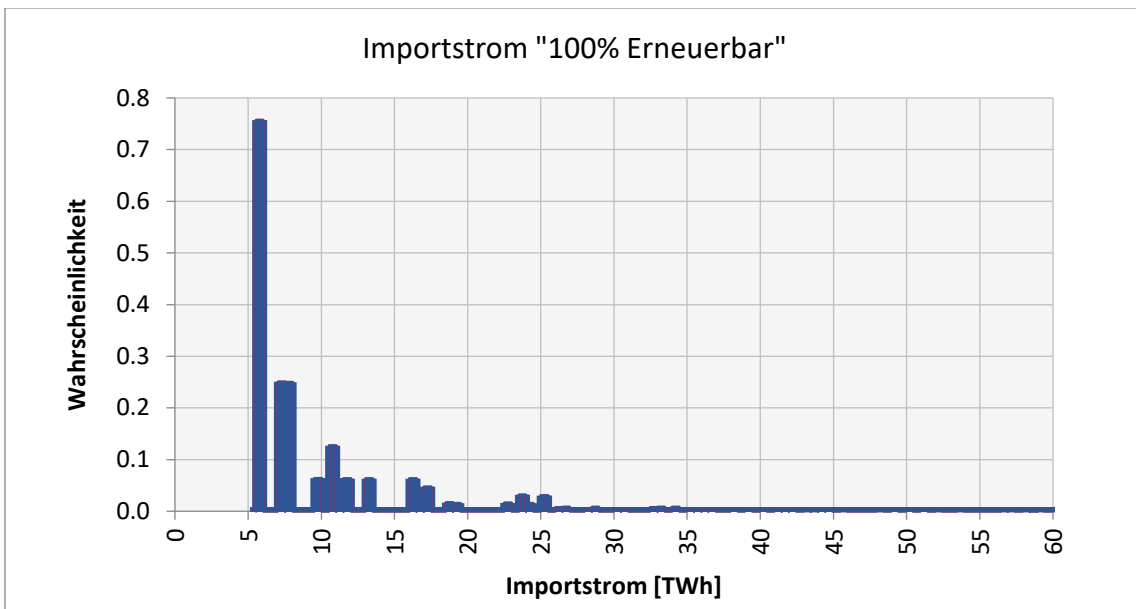


Abbildung 11: Verteilungsdichtefunktion des Importstroms bis 2030 beim Szenario «100% Erneuerbar» bei Berücksichtigung einer evtl. früheren Ausserbetriebnahme der Werke Gösgen und Leibstadt.

Tabelle 2: Vergleich der statistischen Kennzahlen für den Importstrom bei den drei Szenarien. Im Szenario «100% Erneuerbar» wurde eine evtl. frühere Ausserbetriebnahme der Werke Gösgen und Leibstadt gemäss Abb. 9 und 10 berücksichtigt.

Szenario	Mittelwert TWh	Std. Abw. TWh
Minimaler Ausbau	95	57
1. Massnahmenpaket	64	52
100% Erneuerbar	10.6	7.9

Die in Abb. 9 und 10 gezeigten Verteilungsdichtefunktionen im Szenario «100% Erneuerbar» können selbstverständlich auch anders gewählt werden. Setzt man z.B. mit Ausnahme der letzten 3 Jahre vor der geplanten Ausserbetriebnahme für jedes Jahr dieselbe konstante Wahrscheinlichkeit ein wie in den Abbildungen 5 und 6 und erhöht die Wahrscheinlichkeit in den letzten 3 Jahren entsprechend einer geometrischen Verteilung, so ergibt sich ein Mittelwert von 26 TWh und eine Standardabweichung von 26 TWh. Das Szenario «100% Erneuerbar» weist dann mit einer Wahrscheinlichkeit von 71% einen tieferen Importstrom als das Szenario «1. Massnahmenpaket» und mit einer Wahrscheinlichkeit von 88% einen geringeren Importstrom als das Szenario «Minimaler Ausbau» auf.

Die Wahrscheinlichkeiten ändern sich bei Variationen der Verteilung von Abb. 9 und 10, der Mittelwert des Importstroms bleibt aber jeweils beim Szenario «100% Erneuerbar» geringer als bei den anderen beiden Szenarien.

4 Zubau von Strom aus erneuerbaren Energien für den sofortigen Ersatz des KKW-Stroms

Aus den oben dargestellten Untersuchungen stellt sich die Frage, wie der zeitliche Verlauf des Zubaus an erneuerbarem Strom im Falle der Annahme bzw. der Ablehnung der AAI grundsätzlich erfolgen müsste, damit einerseits möglichst wenig Strom aus dem Ausland importiert werden muss und andererseits keine Stromüberschüsse entstehen. Im Optimalfall würde jeweils die gleiche Strommenge aus erneuerbaren Energien zeitgleich zugebaut, die bei den KKW wegfällt.

Zu diesem Zweck wurden die Ausschaltzeiten der KKW für die Annahme bzw. Ablehnung der AAI simuliert und für jedes Jahr die erforderliche Strommenge aus erneuerbarer Produktion berechnet. Dabei wurde der bereits heute vorhandene, durchschnittliche Exportüberschuss von 2 TWh pro Jahr nicht berücksichtigt, deshalb erfolgt im Jahr 2029 der Zubau auf 24.6 TWh. Abbildung 12 zeigt das Resultat im Falle der Annahme der AAI. Hier wurde die in Abb. 9 und 10 dargestellte Unsicherheit bezüglich der Ausschaltzeiten der Werke Gösgen und Leibstadt mitberücksichtigt. Das blaue Band zeigt die Unsicherheit in Form von ± 1 Standardabweichung um den Mittelwert.

Abbildung 13 zeigt das Resultat bei Ablehnung der AAI. Hier ist vor allem die grosse Unsicherheit auffallend (blaues Band mit ± 1 Standardabweichung um den Mittelwert). Der Mittelwert im Jahre 2029 beträgt 17 TWh und ist somit tiefer als im Falle der Annahme der AAI (24.6 TWh). Allerdings ist die Standardabweichung (6 TWh) und damit die Unsicherheit sehr gross.

Abbildung 14 zeigt das Summenhäufigkeitsdiagramm (kumulative Verteilungsfunktion) der bis im Jahre 2030 wegfallenden Stromproduktion aus KKW. Dieser Strom müsste jeweils durch den Zubau von erneuerbaren Energien ersetzt werden, damit keine Importe notwendig sind. Die eingezeichnete

Linie gibt die Wahrscheinlichkeit an, dass der wegfallende Strom aus KKW kleiner ist als der Wert auf der x-Achse. Lesebeispiel: Die Wahrscheinlichkeit, dass im Jahre 2030 weniger als 16 TWh Strom aus KKW weggefallen ist, beträgt ca. 52%. Umgekehrt beträgt die Wahrscheinlichkeit 48%, dass im Jahr 2030 mehr als 16 TWh Strom aus KKW vom Netz gegangen ist.

Bei einem Zubau auf 17 TWh bis im Jahr 2030 beträgt unter den getroffenen Annahmen die Wahrscheinlichkeit 70%, dass im Jahr 2030 keine Stromimporte notwendig sein werden. Wenn eine höhere Gewissheit gewünscht wird, muss auch bei der Ablehnung der AAI bis zum Jahre 2030 der Zubau der erneuerbaren Energien den gesamten KKW-Strom ersetzen können.

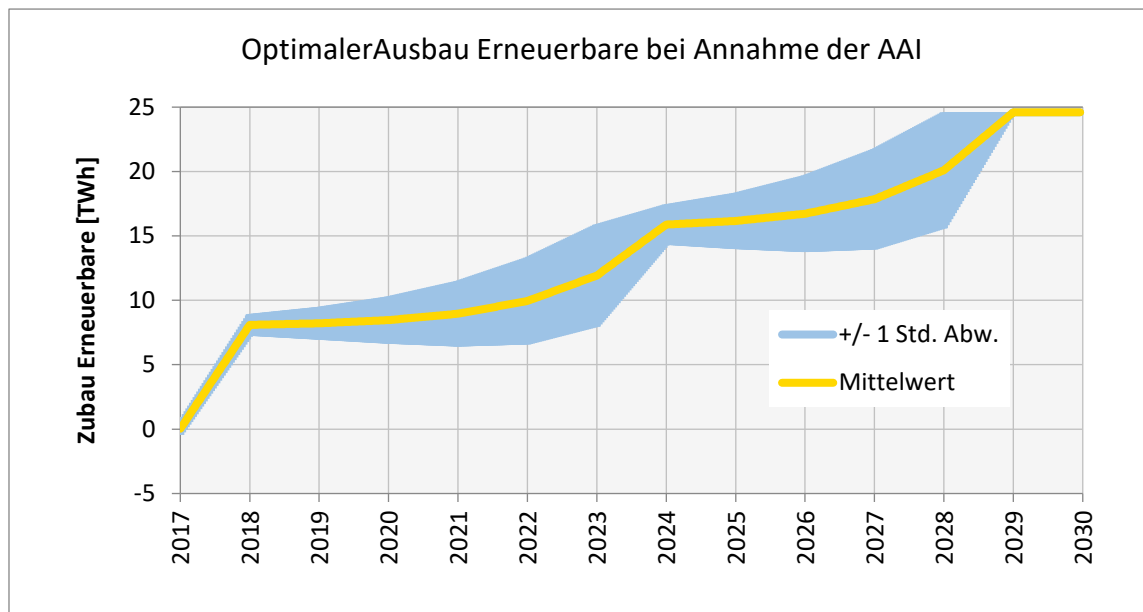


Abbildung 12: Zubau Stromproduktion aus erneuerbarer Energie zum vollständigen Ersatz des jeweils wegfallenden Stroms aus KKW bei Annahme der Atomausstiegsinitiative und Berücksichtigung von Unsicherheiten im Stilllegungsjahr für die KKW Gösgen und Leibstadt.

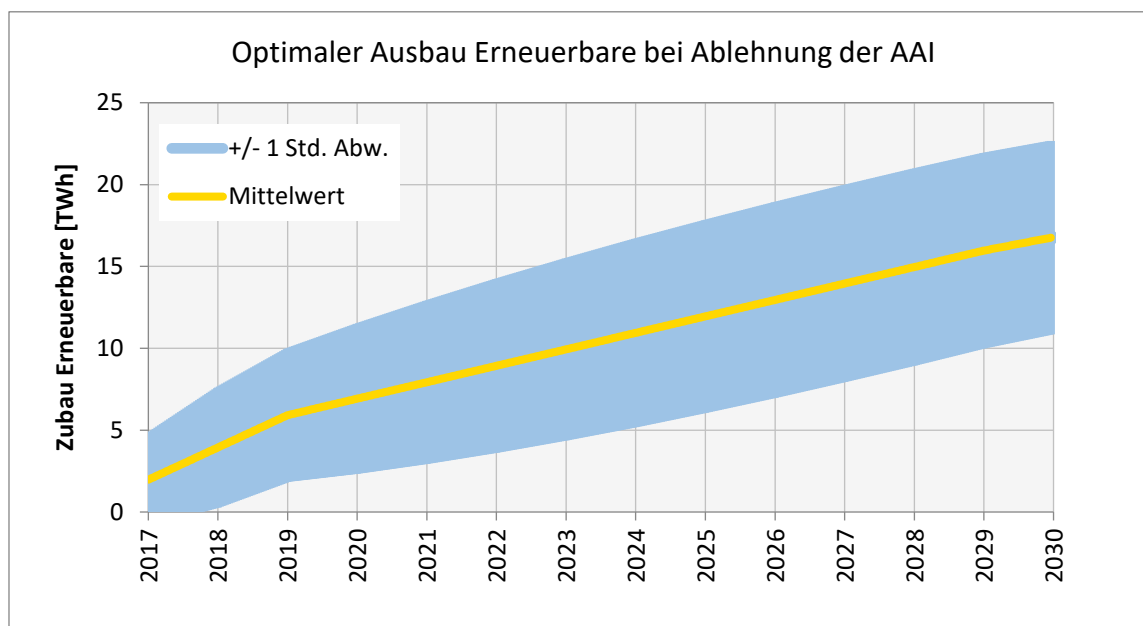


Abbildung 13: Zubau Stromproduktion aus erneuerbarer Energie zum vollständigen Ersatz des jeweils wegfallenden Stroms aus KKW bei Ablehnung der Atomausstiegsinitiative.

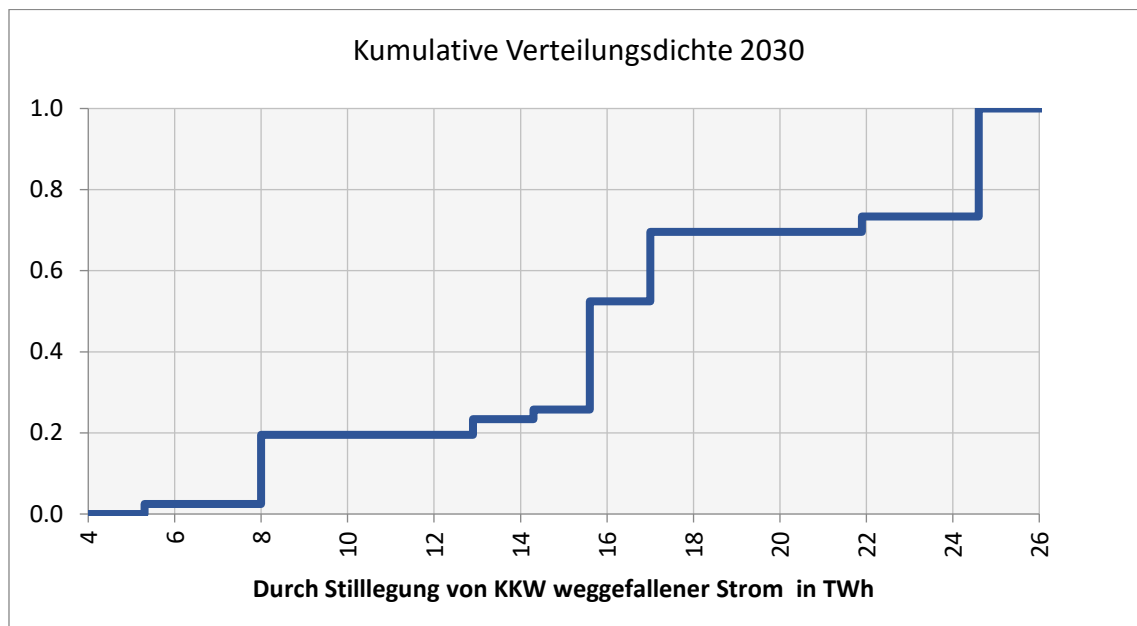


Abbildung 14: Kumulative Verteilungsfunktion für den bis 2030 weggefallenen KKW-Strom bei Ablehnung der AAI. Diese Strommenge müsste jeweils durch den Zubau von Strom aus erneuerbaren Energien ersetzt werden.

5 Schlussfolgerungen

Wenn die Schweiz in Zukunft Stromimporte vermeiden will, sollte der Ausbau der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien stark vorangetrieben werden. Für den vollständigen Ersatz des KKW-Stromes ist bei Annahme der Atomausstiegsinitiative (AAI) bis 2030 ein Zubau auf ca. 22 bis 24 TWh¹ Strom oder entsprechende Energiesparmassnahmen erforderlich.

Die Berechnungen zeigen, dass auch bei Ablehnung der Atomausstiegsinitiative nicht weniger stark zugebaut werden muss: Bei einem Zubau von Strom aus erneuerbaren Energien bis 2030 auf 15 bis 17 TWh besteht eine 30%ige Wahrscheinlichkeit, dass trotzdem Importe notwendig sind. Will man diese Unsicherheit verkleinern, muss die Stromproduktion auch bei einer Ablehnung der AAI bis 2030 auf 22 bis 24 TWh Strom pro Jahr ausgebaut werden.

Die Energiestrategie 2050 des Bundes sieht derzeit einen Ausbau der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien bis 2035 auf 11.4 TWh pro Jahr vor (BFE, 2016). Rechnet man mit einem jährlich gleichmässigen Zubau, würde im Jahr 2030 nur 8.6 TWh zur Verfügung stehen. Beim Ausbau der Erneuerbaren entsprechend der Energiestrategie 2050 werden mit 80%iger Wahrscheinlichkeit auch bei Ablehnung der AAI bis 2030 und darüber hinaus Stromimporte in erheblichem Umfang notwendig sein.

Wenn Stromimporte verhindert oder so klein wie möglich sein sollen, besteht sehr grosser Handlungsbedarf im Bereich Stromeffizienz und Ausbau der Erneuerbaren. Die heute bekannten Zielsetzungen und Massnahmen des Bundes genügen bei weitem nicht.

¹ Je nachdem ob die heutigen Export-Überschüsse berücksichtigt werden oder nicht.

6 Literaturverzeichnis

BFE. (2016). *Energiestrategie 2050 nach der Differenzbereinigung*. Bern.

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.

Sperr, N., & Rohrer, J. (2016). *Beschäftigungseffekte des geordneten Atomausstiegs in der Schweiz*. Schriftenreihe Erneuerbare Energien, Bodenökologie und Ökotechnologie. Winterthur: ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften. <https://doi.org/10.21256/zhaw-1176>.