

Sachdokumentation:

Signatur: DS 4285

Permalink: www.sachdokumentation.ch/bestand/ds/4285



Nutzungsbestimmungen

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

Zitierweise für graue Literatur

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



ALTERNATIVE SZENARIEN ZUR ENERGIESTRATEGIE 2050

WIE KÖNNTE DIE SCHWEIZER STROMVERSORGUNG HEUTE AUCH AUSSEHEN?

Studie
Léonore Hälg, Nils Epprecht

Zürich, 1. März 2023

Zusammenfassung

Die Schweizer Stromversorgung steht mindestens die kommenden Jahre vor Herausforderungen. Verschiedene, vor allem internationale Entwicklungen gefährden eine Versorgung, wie wir sie in den vergangenen Jahren gewohnt waren. Seit Beginn der Diskussionen um eine drohende Strommangellage letzten Sommer meldeten sich verschiedene Stimmen, die die von der Schweizer Stimmbevölkerung vor fünf Jahren angenommene Energiestrategie 2050 für gescheitert erklären. Andere Akteurinnen inklusive der SES fordern dagegen die Beschleunigung der Energiewende. Tatsächlich sähe die Schweizer Stromversorgung heute wohl sehr anders aus, wären die energiepolitischen Weichen im Zuge der Energiestrategie 2050 in eine andere Richtung gestellt worden. Auch wäre dadurch das Ausmass der derzeit vorherrschenden Herausforderungen im inländischen Stromsektor anders. Die vorliegende Studie geht diesen Hypothesen auf den Grund. Sie zeigt anhand von vier Szenarien, inwiefern andere «Energiestrategien» die heutige inländische Stromproduktion beeinflussen hätten. Dabei werden nicht nur der Technologiemark, sondern auch die Versorgungsqualität, die Umweltfreundlichkeit und die Kosten analysiert. Die vier Szenarien reichen von einem Stopp im Ausbau der erneuerbaren Stromproduktionskapazitäten ohne Neubauverbot für Atomkraftwerke (AKW) bis hin zu einer kräftigen Beschleunigung der Energiewende und dem schnellen Atomausstieg.

Die Resultate zeigen, dass nur der massive Ausbau der erneuerbaren Energien die Stromversorgung kurz- und mittelfristig sicherstellen kann. Knapp fünf Terawattstunden – davon eine Terawattstunde im Winterhalbjahr – hätte die Photovoltaik im Jahr 2021 zusätzlich bereitstellen können, wenn die Energiestrategie die notwendigen finanziellen Mittel dafür bereitgestellt hätte. Bis im Jahr 2025 wären sogar neun Terawattstunden zusätzliche Stromproduktion mit Photovoltaik möglich gewesen. Wäre der Ausbau der erneuerbaren Energien und spezifisch der Photovoltaik in den Zehnerjahren aber limitiert oder ganz ausgebremst worden, stünde heute bis zu zweieinhalb Terawattstunden weniger Strom pro Jahr zur Verfügung. Bis im Jahr 2025 würde die Differenz auf fast fünf Terawattstunden erhöht, wodurch zusätzliche Massnahmen zur Sicherung der Stromversorgung ergriffen werden müssten.

Die Untersuchung zeigt nicht nur, dass eine für erneuerbare Energien generöser ausgestaltete Energiestrategie 2050 zu Mehrproduktion und so zur sichereren Stromversorgung geführt hätte. Sie hätte auch die Versorgungsqualität erhöht, denn die Solarstromproduktion schwankt dank der Dezentralisierung weniger im Jahresverlauf als die Stromproduktion in zentralen AKW. Schliesslich würde ein massiver Ausbau der PV-Leistung die Notwendigkeit von Stromimporten reduzieren. Dadurch würde der in der Schweiz verbrauchte Strom umwelt- und klimafreundlicher.



Schweizerische
Energie-Stiftung

Fondation Suisse
de l'Énergie

Sihlquai 67
8005 Zürich
Tel. 044 275 21 21

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

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	2
Inhaltsverzeichnis.....	3
1. Einleitung.....	4
2. Ausgangslage.....	4
3. Vier alternative Szenarien	6
3.1 Übersicht über die Szenarien	6
3.2 Erneuerbare Stromproduktion in den Szenarien	7
3.3 Stromproduktion aus AKW in den Szenarien	8
4. Resultate zur Stromproduktion in den Szenarien	9
4.1 Rückblick: Stromproduktion im Jahr 2021.....	9
4.2 Mittelfristiger Ausblick: Stromproduktion im Jahr 2025	10
4.3 Stromengpass im Winter: Winterstromproduktion in den Jahren 2021 und 2025	11
5. Versorgungssicherheit in den Szenarien.....	12
6. Umweltfreundlichkeit der Stromproduktion in den Szenarien	14
7. Kosten der Stromproduktion in den Szenarien	16
8. Diskussion und Fazit.....	18
9. Anhang.....	19
9.1 Berechnung des Solarausbaus.....	19
9.2 Berechnung der jährlichen AKW-Stromproduktion	20
9.3 Berechnung der Umweltbelastung und Treibhausgasemissionen	20

1. Einleitung

Die Strommangellage war im Jahr 2022 in aller Munde. Ausgelöst durch die sicherheits- und revisionsbedingte Ausserbetriebsetzung rund der Hälfte der 57 kommerziellen, französischen Atomkraftwerke (AKW) und die reduzierte Versorgung Europas mit russischem Erdgas schwappten die Probleme auch in die Schweiz über. Denn eingebunden in den europäischen Strommarkt ist sie von Unsicherheiten bezüglich der Stromproduktion in den umliegenden Ländern betroffen. Zur Sicherstellung der Stromversorgung im Winter reagierte die Politik mit Tatendrang. Das Parlament beschloss mittels eines dringlichen Bundesgesetzes die Unterstützung von alpinen Photovoltaikanlagen zur Winterstromproduktion. Der Bundesrat veranlasste die Sicherung einer Wasserreserve und den Bau des fossilen Reservekraftwerks in Birr und rief die Bevölkerung zur Senkung des Energiekonsums auf.

Seit Beginn der Diskussionen um eine drohende Strommangellage melden sich verschiedene Stimmen, die die von der Schweizer Stimmbevölkerung vor fünf Jahren angenommene Energiestrategie 2050 für gescheitert erklären oder im Gegenteil deren Ausbau fordern.¹ Tatsächlich sähe die Schweizer Stromversorgung heute wohl sehr anders aus, wären damals die Weichen in eine andere Richtung gestellt worden. Auch wäre dadurch das Ausmass der derzeit vorherrschenden Herausforderungen im inländischen Stromsektor anders. Die vorliegende Studie zeigt anhand von vier Szenarien, inwiefern andere «Energiestrategien» die heutige inländische Stromproduktion beeinflusst hätten. Dabei werden nicht nur der Technologiemix, sondern auch die Versorgungsqualität, die Umweltfreundlichkeit und die Kosten analysiert. Die untersuchten Szenarien entsprechen einem Weiter-wie-bisher-Szenario sowie den politischen Maximalforderungen, die in den Debatten zur Energiestrategie 2050 vorgebracht wurden.

Die Studie umreisst zuerst die energiepolitische und stromwirtschaftliche Ausgangslage, die zur Ausarbeitung der Energiestrategie 2050 geführt hat, und zeigt deren Auswirkung auf die heutige inländische Stromproduktion. Danach wird anhand der vier Szenarien dargelegt, wie die Schweizer Stromproduktion heute aussehen könnte, wäre die Energiestrategie nicht das Produkt eines breit abgestützten politischen Kompromisses, sondern nach den Vorstellungen einzelner politischer Exponentinnen entstanden.

2. Ausgangslage

Seit der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts setzt die Schweiz auf ein System von Atom- und Wasserkraftwerken zur Deckung ihrer Stromnachfrage. Das heisst, dass die Atom- und Flusskraftwerke die Grundlast abdecken, während die Speicherkraftwerke für Nachfragespitzen eingesetzt werden. Zusätzlich ist auch der Stromhandel mit dem Ausland ein wichtiges Element dieses Systems. So werden vor allem im Sommer Stromüberschüsse exportiert, während im Winter, wenn die Flüsse weniger Wasser führen und die Wasserkraftwerke weniger Strom produzieren, Strom importiert wird. Bis Ende der Nullerjahre stand die Weiterführung dieses Systems im Vordergrund. So war bis ins Jahr 2011 mittelfristig der Bau von zwei neuen Atomreaktoren geplant.

Die Einbindung von zusätzlichen dezentralen erneuerbaren Stromproduktionstechnologien hat mit dem revidierten Energiegesetz begonnen, das Anfang 2009 in Kraft trat. Damals wurde für sogenannte neue erneuerbare Technologien die kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) eingeführt – als Kompromiss zur Teilöffnung des Schweizer Strommarkts. Die Deckelung des Netzzuschlags auf 0.6, beziehungsweise ab 2011 auf 1.0 Rappen pro Kilowattstunde und die Kontingentierung der Mittel pro Technologie hatten jedoch zur Folge, dass der Ausbau der erneuerbaren Stromproduktion nur langsam voranging und insbesondere bei der Photovoltaik (PV) die Anzahl Projekte die zur Verfügung stehenden Mittel weit überstiegen.

¹ Siehe beispielsweise Vonplon, D. (2022). Was von Doris Leuthards Energiestrategie übrig bleibt. *Neue Zürcher Zeitung* vom 27.05.2022.

Der Reaktorunfall im Kernkraftwerk Fukushima Daiichi im März 2011 und die stark sinkenden Strompreise der 2010er-Jahre läuteten die Abkehr vom bis dahin dominierenden Stromsystem hin zu einer erneuerbaren Energiewende ein. Der Bundesrat beschloss den schrittweisen Ausstieg aus der Atomenergie und legte im September 2012 den Entwurf zur Energiestrategie 2050 vor, der unter anderem den Ausbau der erneuerbaren Stromproduktion forderte.^{2,3} Das eidgenössische Parlament entschied bereits im Frühling 2013 im Zusammenhang mit der parlamentarischen Initiative 12.400 und um die Zeit bis zum Abschluss der Energiestrategie 2050 zu überbrücken, den Netzzuschlag auf 1.5 Rappen pro Kilowattstunde zu erhöhen und die Förderung von kleinen PV-Anlagen mittels Einmalvergütungen so anzupassen, dass die Warteliste abgebaut werden konnte.⁴ Die Grüne Partei reichte Ende 2012 die Atomausstiegsinitiative ein, die den Bau neuer AKW ausschloss und eine Laufzeitbeschränkung der in Betrieb stehenden AKW auf 45 Jahre vorsah. Die Initiative wurde im November 2016 von 54.2 Prozent der Schweizer Stimmbevölkerung abgelehnt.⁵ Dennoch zogen die AKW-Betreiber noch vor der Abstimmung ihre Neubaugesuche zurück – gemäss eigenen Angaben aus wirtschaftlichen Gründen, da sich neue Atomkraftwerke nicht mehr rechneten.⁶ Vor diesem Hintergrund fanden die Arbeiten zur Energiestrategie 2050 statt, die im Herbst 2016 mit den Schlussabstimmungen in den beiden Räten abgeschlossen waren. Das Resultat dieses sogenannten ersten Massnahmenpakets der Energiestrategie 2050 war ein breit abgestützter Kompromiss, der unter anderem ein Neubauverbot für Atomkraftwerke, höhere Richtwerte für den Zubau der erneuerbaren Energien, sowie den Ausbau ihrer Förderung mit einem maximalen Netzzuschlag von 2.3 Rappen pro Kilowattstunde beinhaltete.⁷ Gegen die Energiestrategie 2050 und die dazugehörige Revision des Energiegesetzes wurde das Referendum ergriffen, das am 21. Mai 2017 mit 58.2 Prozent Ja-Stimmen vom Stimmvolk verworfen wurde.⁸ Das revidierte Energiegesetz trat Anfang 2018 in Kraft.

Die politische Arbeit an einer Neuausrichtung der schweizerischen Energieversorgung wurde wie erwähnt von verschiedenen nationalen und internationalen Entwicklungen in der Stromwirtschaft begleitet. Die tiefen europäischen Strommarktpreise führten zu sehr tiefen Eigenmitteln der Schweizer Stromproduzenten. Auch Deutschland hatte sich im Nachgang des Nuklearunfalls in Fukushima für den Atomausstieg entschieden, wobei dort schliesslich die Laufzeit der existierenden Atomkraftwerke terminiert wurde.⁹ In der Schweiz beschloss die BKW als Betreiberin des AKW Mühleberg im Herbst 2013, dieses Ende 2019 abzuschalten.¹⁰ Dann wurde die Stromproduktion durch neue Photovoltaik-Anlagen weltweit, aber auch in der Schweiz immer günstiger und konnte immer mehr mit konventionellen Kraftwerken mithalten bis sie Ende der 2010er-Jahre zur günstigsten Technologie für neue Stromproduktion wurden.¹¹ Schliesslich fanden die politischen Diskussionen um die Zukunft der Schweizer Stromwirtschaft auch immer vor dem Hintergrund einer Strommarktöffnung statt. Ein erster Versuch des eidgenössischen Parlaments zur vollständigen Öffnung des Schweizer Strommarkts wurde 2002 vom Schweizer Stimmvolk verworfen. Als Kompromiss wurde der Strommarkt im Nachgang nur teilweise und zwar für die grossen Stromkonsumentinnen liberalisiert und gleichzeitig die Förderung der erneuerbaren Ener-

² Bundesrat (2011). Bundesrat beschliesst im Rahmen der neuen Energiestrategie schrittweisen Ausstieg aus der Kernenergie. Medienmitteilung vom 25.05.2011.

³ Bundesrat (2012). Energiestrategie 2050 und ökologische Steuerreform - Bundesrat eröffnet Vernehmlassung zur Energiestrategie 2050. Medienmitteilung vom 28.09.2012.

⁴ Bundesversammlung. Freigabe der Investitionen in erneuerbare Energien ohne Bestrafung der Grossverbraucher. Parlamentarische Initiative 12.400. (<https://www.parlament.ch/de/ratsbetrieb/suche-curia-vista/geschaeft?AffairId=20120400>)

⁵ BBI 2017 1525

⁶ Apxo, Alpiq, BKW (2016). Rückzug der Rahmenbewilligungsgesuche. Gemeinsame Medienmitteilung vom 12.10.2016

⁷ BBI 2016 7683

⁸ BBI 2017 4865

⁹ Die letzten Reaktoren Isar 2 und Neckarwestheim werden spätestens Mitte April 2023 vom Netz gehen. Siehe dazu: Spiegel (2022). Habeck bereitet AKW-Einsatz bis April 2023 vor. Der Spiegel vom 27.09.2022.

¹⁰ BKW (2013). Kernkraftwerk Mühleberg – Ausserbetriebnahme im Jahr 2019. Medienmitteilung vom 30.10.2013.

¹¹ IRENA (2022). Renewable Power Generation Costs in 2021. International Renewable Energy Agency: Abu Dhabi; Rechsteiner, R. (2021). Wie teuer ist der Strom aus erneuerbaren Energien? In: Die Energiewende im Wartesaal. Zocher & Peter Verlag: Zürich.

gien durch die KEV eingeführt. Die vollständige Marktöffnung fand jedoch bis heute keine Mehrheit. Die Möglichkeit einer vollständigen Marktöffnung wird in der vorliegenden Studie denn auch nicht weiter berücksichtigt.¹²

Fünf Jahre nach der Annahme der Energiestrategie 2050 durch das Stimmvolk kann konstatiert werden, dass alle für 2020 gesetzten Ziele erreicht wurden.¹³ So wurde einerseits der angestrebte Ausbau der erneuerbaren Stromproduktion übertroffen der Energieverbrauch pro Kopf wesentlich reduziert. Die Ziele sagen aber wenig darüber aus, ob die Energiestrategie in ihrer heutigen Form auch die Stromversorgung sicherstellt und die Energiewende in der richtigen Richtung vorantreibt. Aus diesem Grund werden im nachfolgenden Kapitel vier alternative Szenarien präsentiert, die aufzeigen sollen, wie die Situation im Stromsektor heute und mittelfristig aussehen könnte, wäre die Energiestrategie anders gestaltet gewesen.

3. Vier alternative Szenarien

In der vorliegenden Kurzstudie werden vier Szenarien als Alternativen zur Energiestrategie 2050 und deren Einfluss auf die Stromproduktion in der Schweiz in den Jahren 2021 und 2025 untersucht. Die Szenarien basieren auf den verschiedenen Forderungen die nach Fukushima von Politikakteur:innen geäußert wurden und unterscheiden sich im Umfang des PV-Ausbaus, der auf verschiedenen Annahmen bezüglich der Höhe des Netzzuschlags beruhen, und der Anzahl stillgelegter AKW (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1. Übersicht über die untersuchten Szenarien.

Szenario	Beschreibung	Atomausstieg	Erneuerbaren Ausbau
Szenario 1	Keine Energiewende und kein Atomausstieg	Nein	Nein, Abschaffung des Netzzuschlags
Szenario 2	Limitierte Energiewende ohne Atomausstieg	Nein	Minimal mit Netzzuschlag begrenzt auf 1 Rp./kWh
Szenario 3	Forcierte Energiewende und schneller Atomausstieg	Laufzeitbeschränkung auf 50 Jahre und Neubauverbot	Massiv mit ungedeckeltem Netzzuschlag
Szenario 4	Forcierte Energiewende mit offenem Atomausstieg	Neubauverbot	Massiv mit ungedeckeltem Netzzuschlag
Energiestrategie 2050		Neubauverbot	Moderat mit Netzzuschlag begrenzt auf 2.3 Rp. /kWh

3.1 Übersicht über die Szenarien

In Szenario 1 wird angenommen, dass keine Energiewende aber auch kein Atomausstieg entschieden wurden. Dieses entspricht den Forderungen nach der Sistierung der Förderung für erneuerbare Energien und der Abkehr vom Atomausstieg, wie sie vor der Ausarbeitung der Energiestrategie 2050 von einigen SVP-Vertretern hervorgebracht worden waren. Mit diesen Vorschlägen wäre der Netzzuschlag bereits mit der parlamentarischen Initiative 12.400 – das heisst auf das Jahr 2014 – abgeschafft worden. Neue AKW wären in diesem Szenario immer noch möglich.

Szenario 2 repräsentiert die Forderungen nach einer Limitierung der Energiewende ohne Atomausstieg. Hier wird angenommen, dass der Reaktorunfall in Fukushima keinen Einfluss auf die Schweizer Energiepolitik gehabt hätte und keine Energiestrategie 2050 ausgearbeitet worden wären. Das Energiegesetz von Anfang 2011 wäre ohne Veränderung bis heute in Kraft. Der auf 1.0 Rappen pro Kilowattstunde gedeckelte Netzzuschlag für die För-

¹² Es wird angenommen, dass der Effekt einer vollständigen Marktöffnung auf die Schweizer Stromproduktion wohl gering gewesen wäre. Die kleine Schweiz hätte wohl keinen grossen Einfluss auf die europäischen Strompreise, die durch die Marktöffnung für die Konsumentinnen wohl gesunken wären. Dadurch hätten sich auch kleine PV-Anlagen auf Schweizer Hausdächer, deren Strom direkt vermarktet worden wäre, wohl nicht unbedingt gelohnt, weshalb deren Ausbau wohl nicht merklich verschnellert worden wäre. Grosskraftwerke sind mit oder ohne Marktöffnung sowieso von den europäischen Grosshandelspreisen abhängig.

¹³ Bundesrat (2022). Energiestrategie 2050 – Fünfjährliche Berichterstattung im Rahmen des Monitorings. Siehe auch: Hälg, L., Epprecht, N., Nipkow, F., Lüscher, F. (2022). Zurück zur Vision – White Paper zu 5 Jahre Ja zur Energiestrategie 2050. Schweizerische Energie-Stiftung, Zürich.

derung der erneuerbaren Energien wäre bis 2015 noch auf dieses Niveau gestiegen, dann aber konstant geblieben. Neue AKW wären immer noch möglich. Dieses Szenario entspricht den Forderungen von SVP und FDP.¹⁴

In Szenario 3 wird eine forcierte Energiewende und ein Atomausstieg inklusive Laufzeitbeschränkungen für die bestehenden AKW angenommen. Es entspricht Forderungen von SP und Grünen nach einem Ausbau der Förderung für erneuerbare Energien, indem der Deckel für den Netzzuschlag aufgehoben worden wäre. Von den gleichen Parteien wurde durch die Atomausstiegsinitiative aber auch in den Debatten zur Energiestrategie 2050 eine Laufzeitbeschränkung der in Betrieb stehenden Atomkraftwerke von 45 beziehungsweise 50 Jahren verlangt.¹⁵ In diesem Szenario wird deshalb eine Laufzeit von 50 Jahren angenommen. Beide Reaktorblöcke vom AKW Beznau wären so spätestens bis 2021 abgestellt worden.

Szenario 4 schliesslich ist ein Szenario mit offenem Atomausstieg à la Energiestrategie 2050 und forciertes Energiewende. Letzterer wäre auch hier dank der Aufhebung der Deckelung des Netzzuschlags zustande gekommen. Hier wird dem Umstand Rechnung getragen, dass nicht alle Akteurinnen, die den Ausbau der erneuerbaren Energietechnologien vorantreiben wollten, auch den sofortigen Atomausstieg forderten.

Die Szenarien werden mit der bis heute tatsächlich stattgefundenen und in Zukunft erwarteten Entwicklung mit der Energiestrategie 2050 verglichen. In der vom Parlament als Kompromiss erarbeiteten und vom Volk angenommenen Energiestrategie 2050 wurde ein Verbot für den Bau neuer AKW und die Erhöhung des Netzzuschlags auf 2.3 Rappen pro Kilowattstunde eingeführt.

3.2 Erneuerbare Stromproduktion in den Szenarien

Die tatsächliche Stromproduktion aus erneuerbaren Energien in der Schweiz hat in den vergangenen Jahren stetig zugenommen. Dafür verantwortlich ist der Ausbau der Solarenergie. Deren jährliche Stromproduktion steigerte sich seit 2009 um das 57-fache.¹⁶ Auch der Ausbau der anderen erneuerbaren Stromproduktionskapazitäten nahm in diesem Zeitraum zu, jedoch in kleinerem Mass. In dieser Studie wird im Zusammenhang mit dem Ausbau der erneuerbaren Energietechnologien auf die Solarenergie fokussiert, da der Zubau von PV-Anlagen am direktesten vom Umfang der finanziellen Unterstützung abhängt.

Abbildung 1 zeigt, wie sich die PV-Stromproduktion in den unterschiedlichen Szenarien entwickelt hätte. Die genauen Berechnungen, Annahmen und benutzten Daten sind im Anhang zusammengefasst. Im Szenario 1 wurde angenommen, dass die PV-Kapazität ab 2014 durch die Abschaffung des Netzzuschlags stagniert hätte. Die PV-Stromproduktion ist in diesem Szenario deshalb seit 2013 in etwa konstant. Die kleinen Unterschiede zwischen den Jahren beruhen auf den durch das Wetter und die Sonneneinstrahlung unterschiedlich hohen Volllaststunden. So wären in diesem Szenario im Jahr 2021 nur rund 0.6 Terawattstunden PV-Strom produziert worden. Das sind 2.3 Terawattstunden weniger als die tatsächliche PV-Stromproduktion im Jahr 2021.

Im Szenario 2 wurde angenommen, dass sich die PV-Kapazitäten je nach Höhe des Netzzuschlags proportional zur tatsächlich zugebauten Leistung entwickelt hätten. Das heisst, dass für das Jahr 2018, wo der Netzzuschlag tatsächlich 2.3 und im Szenario 1.0 Rappen pro Kilowattstunde betrug, der Zubau von PV-Leistung im Szenario auch 2.3-mal geringer war. Die Deckelung des Netzzuschlags hätte so den Solarausbau auf tiefem Niveau verlangsamt. Die Stromproduktion hätte jedoch immer noch jährlich zugenommen bis auf 1.9 Terawatt-

¹⁴ Beide Parteien forderten den Ausbau der Stromproduktion aus Wasserkraft um 3 TWh/a und den Ausbau der erneuerbaren Energien um 3 TWh/a (SVP) und bis 10 TWh/a (FDP). Die SVP forderte zudem den Bau eines AKW neuester Technologie, während die FDP keine AKW des bisherigen Reaktortyps aber Offenheit gegenüber neuer Technologien forderte. Beide Parteien forderten schliesslich den Übergang von einem Förder- zu einem Lenkungssystem und somit die ultimative Abschaffung des Netzzuschlags. Siehe: SVP (2012). Für eine sichere und bezahlbare Stromversorgung. Positionspapier der Schweizerischen Volkspartei zur Energiepolitik; Und FDP. Die Liberalen (2011). Der liberale Umbau der Energieversorgung – Versorgungssicherheit, sichere Produktion, Klimaschutz und wettbewerbsfähige Preise.

¹⁵ SP (2014). Zeit, den Atomausstieg einzuleiten. Medienmitteilung vom 27.11.2014; Und Grüne (2014). 45 Jahre sind genug! Medienmitteilung vom 01.09.2014.

¹⁶ BFE (2022). Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien 2021 – Vorabzug. Bundesamt für Energie, Bern.

stunden im Jahr 2021. Dies sind 0.9 Terawattstunden weniger als die tatsächliche PV-Stromproduktion im gleichen Jahr.

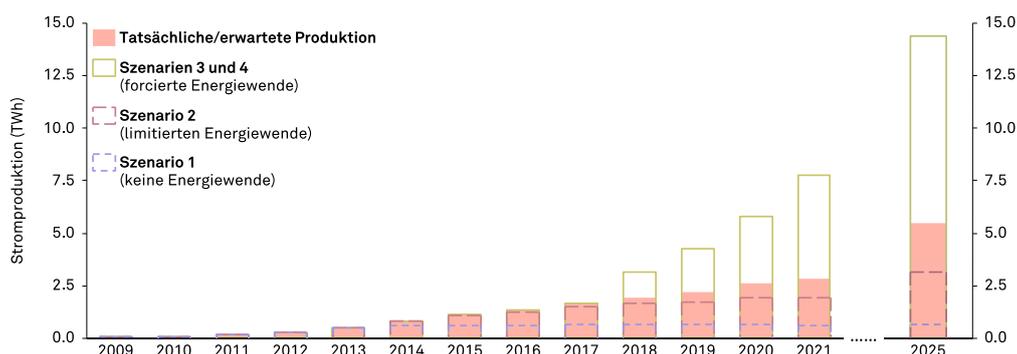


Abbildung 1. Stromproduktion aus Photovoltaik bis 2021 und im Jahr 2025 in den verschiedenen Szenarien. Berechnungsmethodik im Anhang.

In den Szenarien 3 und 4 wurde die Abschaffung der Deckelung des Netzzuschlags ab dem Jahr 2018 angenommen. Dafür gibt es keinen historischen Präzedenzfall in der Schweiz. Deshalb wird für die Berechnung des PV-Ausbaus bis 2021 in den Szenarien auf die Ausbauraten für PV-Dachanlagen in Deutschland zwischen 2004 und 2008 zurückgegriffen, als es in Deutschland auch keine Deckelung für die sogenannte EEG-Umlage gab. PV-Anlagen in Deutschland wurden zu dieser Zeit mit einer Einspeisevergütung gefördert. Es kann davon ausgegangen werden, dass ohne Deckelung des Netzzuschlags auch in der Schweiz die Einspeisevergütung weiterhin ausbezahlt worden wäre. Denn die Einführung der Investitionsbeiträge wurde mit dem Abbau der Warteliste begründet, die erst durch den limitierten Netzzuschlag verursacht worden war. Mit dem in den Szenarien 3 und 4 berechneten PV-Ausbau wären im Jahr 2021 rund 7.8 Terawattstunden Solarstrom produziert worden. Dies sind 5.0 Terawattstunden mehr als die tatsächliche PV-Stromproduktion im gleichen Jahr.

Für die Berechnung der Solarstromproduktion im Jahr 2025 wurde eine konstante Zubaurate der PV-Kapazität ab 2021 angenommen. Das bedeutet, dass sich die PV-Kapazität linear vergrößert. Die Stromproduktion wurde dann mit den mittleren Volllaststunden der letzten fünf Jahre (2017-2021) berechnet.

3.3 Stromproduktion aus AKW in den Szenarien

Die jährliche Atomstromproduktion in der Schweiz bewegte sich bis zur Abschaltung des AKW Mühleberg Ende 2019 bei rund 25 Terawattstunden (siehe Abbildung 2). Eine Ausnahme bilden die Jahre 2015 bis 2017, während denen das AKW Beznau 1 aus Sicherheitsproblemen am Reaktordruckbehälter die meiste Zeit vom Netz war.

In allen vier untersuchten alternativen Szenarien zur Energiestrategie 2050 kann davon ausgegangen werden, dass das AKW Mühleberg abgeschaltet und dass bis heute keine neuen AKW fertiggestellt worden wären. Denn die Gesuche für die Rahmenbewilligung für die neuen geplanten AKW wurden 2016 von den Betreiberinnen zurückgezogen. Bei einer Bauzeit von durchschnittlich 14 Jahren für Reaktoren der neuesten Generation in Westeuropa¹⁷ und einigen Jahren für die Erteilung von Rahmen- und Baubewilligung¹⁸ hätte mit einer alternativen Energiestrategie 2050 ohne Neubauverbot wohl erst Mitte der 2030er Jahre Strom aus neuen AKW produziert werden können. Die Abschaltung des AKW Mühleberg

¹⁷ Olkiluoto-3 in Finnland befindet sich im Testbetrieb und wird voraussichtlich im März 2023 den kommerziellen Betrieb aufnehmen. Die Bauzeit betrug 17 Jahre. Der kommerzielle Betrieb von Flamanville-3 in Frankreich ist für 2024 vorgesehen. Dies würde auch hier eine Bauzeit von 17 Jahren bedeuten. Der kommerzielle Betrieb von Hinkley Point C in England ist für 2027 geplant. Dies würde eine Bauzeit von 8 Jahren bedeuten. Die durchschnittliche Bauzeit dieser drei Werke der neuesten Generation beträgt also 14 Jahre.

¹⁸ Siehe: Banholzer, S., Nipkow, F., Epprecht, N. (2019). Klimawandel und Atomkraftwerke – Realisierbarkeit von neuen Atomkraftwerken zur Dekarbonisierung der schweizerischen Energieversorgung. Schweizerische Energie-Stiftung SES, Zürich.

wurde bereits 2013 kommuniziert,¹⁹ bevor die Energiestrategie 2050 überhaupt im Parlament behandelt worden war. Dass die Betreiberin des AKWs den Abschaltentscheid durch eine anders ausgestaltete Energiestrategie umgestossen hätte, ist unwahrscheinlich. Im Szenario 3 wäre Beznau 1 nach dem Stillstand 2016 und 2017 gar nicht mehr ans Netz gekommen und auch Beznau 2 spätestens Ende 2017 abgeschaltet worden.

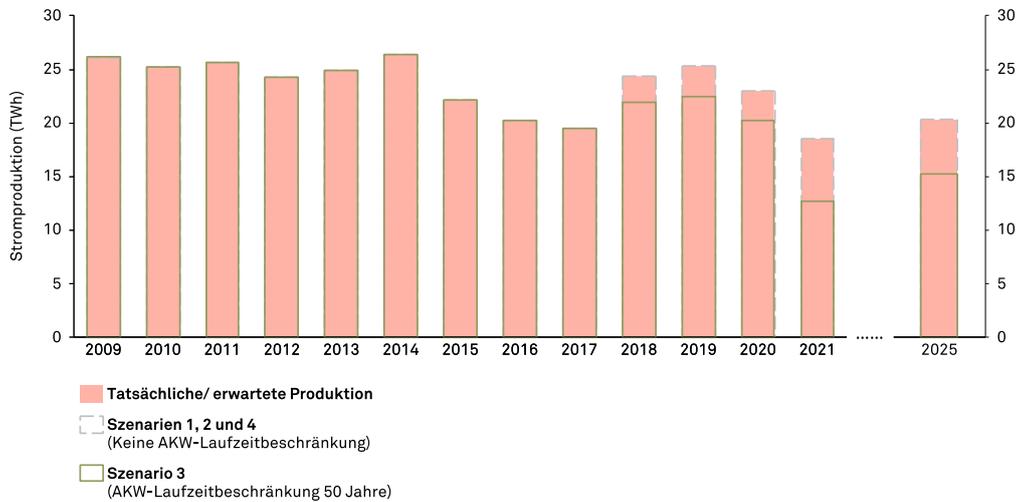


Abbildung 2. Stromproduktion aus AKW bis 2021 und im Jahr 2025 in den verschiedenen Szenarien.²⁰

4. Resultate zur Stromproduktion in den Szenarien

4.1 Rückblick: Stromproduktion im Jahr 2021

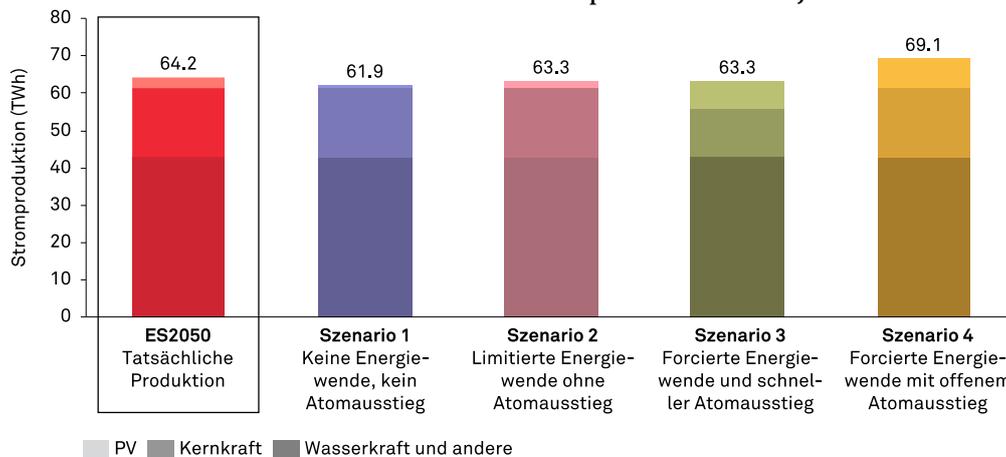


Abbildung 3. Stromproduktion in den Szenarien und in Realität im Jahr 2021 nach Technologie.²¹

Abbildung 3 zeigt die tatsächliche Stromproduktion und die berechnete Stromproduktion in den Szenarien im Jahr 2021. Die Resultate legen dar, dass die forcierte Energiewende mit gleichzeitigem Weiterbetrieb der AKW (Szenario 4) zur höchsten Stromproduktion im Jahr 2021 geführt hätte. Die tatsächliche Stromproduktion in diesem Jahr betrug fast 5 Terawattstunden oder 7 Prozent weniger, war aber immer noch höher als die Produktion in den anderen Szenarien. Szenario 3 zeigt, dass der massiv höhere Ausbau der Solarenergie die Stilllegung der zwei Reaktorblöcke in Beznau sogar im sehr regnerischen Jahr 2021 wettgemacht hätte. Denn in den Szenarien 2 und 3 wäre 2021 gleich viel Strom produziert wor-

¹⁹ BKW (2013). Kernkraftwerk Mühleberg – Ausserbetriebnahme im Jahr 2019. Medienmitteilung vom 30. Oktober 2013.

²⁰ Datenquelle: Schweizerischen Elektrizitätsstatistik des Bundesamts für Energie BFE.

²¹ Daten berechnet und aus BFE (2022). Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2021. Bundesamt für Energie, Bern.

den.²² Schliesslich zeigt Szenario 1, dass kein weiterer Ausbau der Photovoltaik zu mehr als zwei Terawattstunden Minderproduktion im Vergleich zur Energiestrategie 2050 gebracht hätte.

4.2 Mittelfristiger Ausblick: Stromproduktion im Jahr 2025

Abbildung 4 zeigt, dass die Stromproduktion im Jahr 2025 in allen Szenarien höher als im Jahr 2021 ausfallen würde – allerdings in unterschiedlichem Ausmass. Ein Anteil dieser Erhöhung ist rechnerischer Natur, da die Zahlen für das Jahr 2021 mit tatsächlichen Produktionsdaten, für das Jahr 2025 jedoch mit durchschnittlichen Produktionsdaten gerechnet wurde. Das Jahr 2021 war sowohl bei der Solarstrom- als auch bei der AKW-Produktion unterdurchschnittlich (vgl. Szenario 1).²³

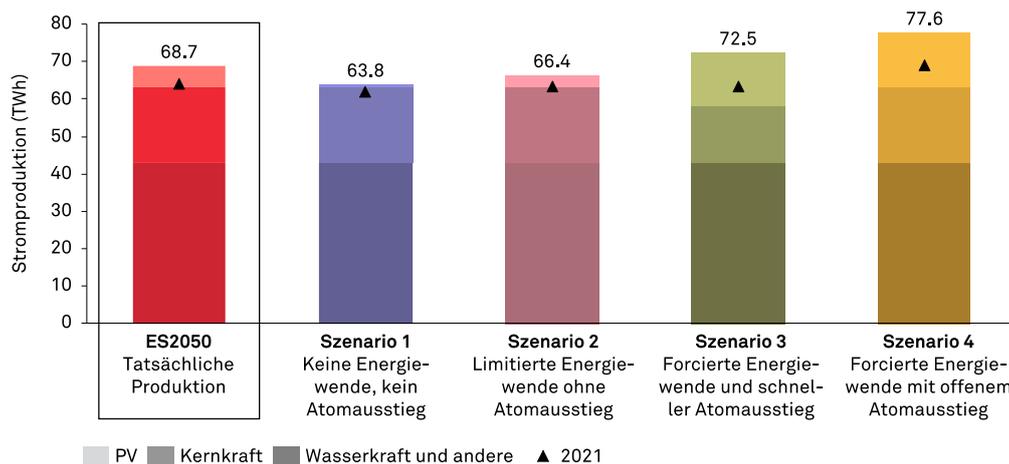


Abbildung 4. Stromproduktion in den Szenarien und mit der Energiestrategie 2050 im Jahr 2025 nach Technologie. Die Dreiecke markieren die jeweilige Stromproduktion im Jahr 2021.

Die anderen Szenarien und auch für das Szenario Energiestrategie 2050 zeigen durch den Ausbau der PV-Kapazitäten eine wesentliche Erhöhung der Stromproduktion im Jahr 2025 im Vergleich zu 2021 auf. Die jährliche Stromproduktion in den Szenarien 3 und 4, wo eine forcierte Energiewende berechnet wird, wird in den vier Jahren um mehr als neun Terawattstunden erhöht – mehr als die maximale Jahresproduktion des AKW Gösgen. Die dank der Energiestrategie 2050 tatsächlich zu erwartende Produktion erhöht sich immerhin noch um mehr als vier Terawattstunden. Hier ist zu beachten, dass bis 2025 die gleiche Ausbaurate wie im Jahr 2021 angenommen wurde. Dies widerspiegelt weder die Dynamik, die die vorläufigen Zahlen für das Jahr 2022 zeigen, noch allfällige Auswirkungen, die durch die Veränderung der finanziellen Rahmenbedingungen für die Photovoltaik im Zusammenhang mit der 2021 erfolgten sowie der aktuell diskutierten Revisionen des Energiegesetzes zu erwarten sind. Die für das Jahr 2025 berechnete Stromproduktion von 68.7 Terawattstunden ist also angesichts der jüngsten Entwicklungen auf dem Solarstrommarkt eher konservativ einzuschätzen. Der minimale PV-Ausbau in Szenario 2 reicht für eine jährliche Mehrproduktion im Jahr 2025 von rund drei Terawattstunden im Vergleich zu 2021.

²² Tatsächlich hätte eine durchschnittliche Sonneneinstrahlung im Jahr 2021 zu einer Mehrproduktion von 0.82 TWh (Szenarien 3 und 4), 0.18 TWh (Szenario 2), 0.06 TWh (Szenario 1), beziehungsweise 0.26 TWh (tatsächliche Produktion) geführt. Denn das Jahr 2021 kam nur auf 778 Volllaststunden im Vergleich zum fünfjährigen Durchschnitt von 859 Volllaststunden. Die Unterschiede sind zu einem grossen Teil auf die im Jahr 2021 tiefere Sonneneinstrahlung zurückzuführen. Die hier aus der jährlichen Stromproduktion und installierten Leistung berechneten Volllaststunden sind tiefer als die durchschnittlich pro Anlage ausgewiesenen 950 Volllaststunden pro Jahr. Der Grund liegt darin, dass nicht alle neuen Anlagen auf Anfang Jahr in Betrieb genommen werden und so zwar in der installierten Leistung beinhaltet sind, aber noch nicht ein ganzes Jahr Strom produziert haben.

²³ Konkret geht es um die Arbeitsausnutzung der AKW und die Volllaststunden der Photovoltaik, die im Jahr 2021 rund 10 Prozent tiefer ausfielen als im fünfjährigen Durchschnitt. Mit beiden Parametern wird aus der installierten Leistung die Stromproduktion berechnet.

4.3 Stromengpass im Winter: Winterstromproduktion in den Jahren 2021 und 2025

Die in der jüngeren Vergangenheit und derzeit laufenden Diskussionen über die kurzfristige Sicherstellung der Stromversorgung im Winter täuschen darüber hinweg, dass die Sicherstellung der Winterstromversorgung auch mittelfristig ein wichtiges Thema ist. So warnt die dafür zuständige Elektrizitätskommission (Elcom) bereits länger, dass durch das fehlende Stromabkommen mit der EU die Stromimporte aus den Nachbarländern in Zukunft erschwert werden könnten.²⁴ Diese sind für die Schweiz vor allem im Winter von zentraler Bedeutung. Aus diesem Grund wird in diesem und auch im nächsten Abschnitt auf die mittelfristige Sicherstellung der inländischen Stromproduktion besonders auch im Winter in den einzelnen Szenarien eingegangen. Natürlich können diese Berechnungen schnell überholt werden in Anbetracht der Revision des Energiegesetzes und des Stromversorgungsgesetzes.

Die Betrachtung der jährlichen Stromproduktion von verschiedenen Technologien und Szenarien gibt nur ein unvollständiges Bild der tatsächlichen Situation, da der Strom in der Schweiz nicht beliebig gespeichert und von einer Jahreszeit in die nächste verschoben werden kann. Aus diesem Grund wurde auch die Stromproduktion im Winterhalbjahr in den einzelnen Szenarien analysiert. Abbildung 5 zeigt die Stromproduktion in den beiden Winterquartalen des Jahres 2021 und berechnet für das Jahr 2025. Wiederum gibt es kleine Unterschiede rechnerischer Natur zwischen der Winterstromproduktion der einzelnen Jahre, die von den verwendeten Daten stammen.

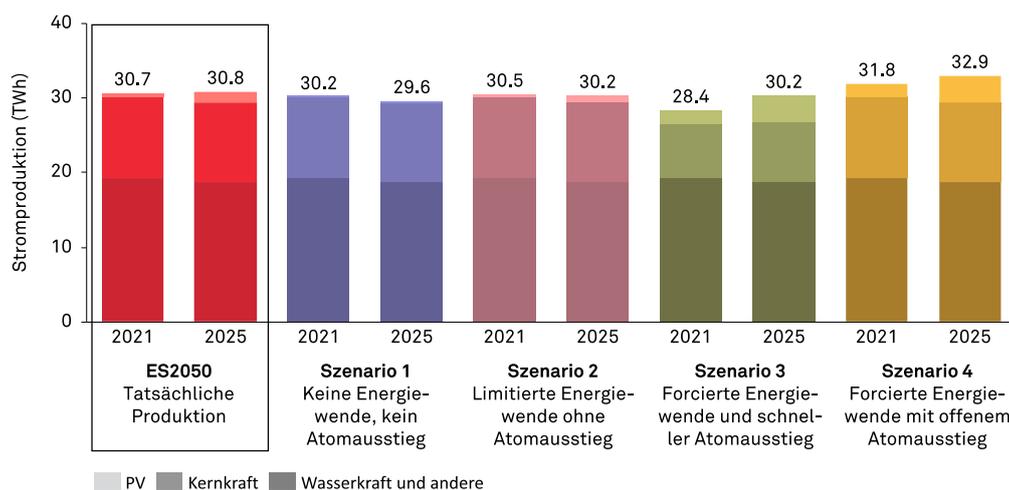


Abbildung 5. Berechnete Stromproduktion im Winterhalbjahr in den Szenarien im Jahr 2021 und im Jahr 2025 nach Technologie.²⁵

Die Resultate zeigen, dass die tatsächliche Winterstromproduktion nur im Vergleich zu einem massiven PV-Ausbau abfällt. Denn auch im Winter weist Szenario 4 die höchste Stromproduktion aus und zeigt, dass ein massiver PV-Ausbau in den Wintermonaten des Jahres 2021 über eine Terawattstunde zusätzlicher Produktion im Vergleich zur tatsächlichen Produktion geliefert hätte. Dies ist das Zweieinhalbfache der Wasserreserve, die der Bund Ende Oktober für die Sicherstellung der Stromversorgung in diesem Winter 22/23 für fast 300 Millionen Franken gesichert hat.²⁶

²⁴ Siehe beispielsweise ElCom (2021). ElCom informiert über Versorgungssicherheit und Entwicklungen auf den Strommarkt. Medienmitteilung vom 03.06.2021.

²⁵ Die Winterstromproduktion wurde anhand des Anteils der über die letzten Jahre durchschnittlich im Winterhalbjahr anfallenden Produktion an der Jahresproduktion berechnet. Für AKW und PV wurden dafür 53.1%, bzw. 24.1% berechnet (Datenquelle: ENTSO-E Transparency Platform). Der durchschnittliche Winteranteil der Wasserkraft betrug 43.1% (Datenquelle: Schweizerische Elektrizitätsstatistik). Für andere erneuerbare und fossile Stromproduktion wurde ein arbiträrer Anteil von 50% eingesetzt.

²⁶ ElCom (2022). Ergebnisse der Ausschreibung Wasserkraftreserve. Medienmitteilung vom 25.10.2022.

Die Photovoltaik hat auch das Potential zum Ersatz der Winterstromproduktion eines AKW. Dies zeigt der Vergleich des Szenarios 3 mit den Szenarien 1 und 2. So hätte die in Szenario 3 angenommene Abschaltung des AKW Beznau im Jahr 2021 zwar zu weniger Stromproduktion geführt. Ein beherzter Solarausbau könnte dies aber innerhalb weniger Jahren wettmachen. Die Winterstromproduktion im Szenario 3 wäre im Jahr 2025 nämlich gleich hoch wie im Szenario 2 und höher als im Szenario 1. Eine detaillierte Analyse der Resultate zeigt, dass die berechnete Winterstromproduktion in Szenario 3 bereits in diesem Winter höher wäre als in Szenario 1.

5. Versorgungssicherheit in den Szenarien

Die Situation in diesem Sommer und die Diskussionen um eine drohende Strommangel-lage zeigen, dass die Stromversorgung vor allem dann unsicher ist, wenn in der Stromproduktion oder -nachfrage nicht antizipierte Abweichungen auftreten. So stellten unerwartet viele abgeschaltete AKW in Frankreich, die nicht so erwartete Drosselung der Gaslieferungen aus Russland und in geringerem Mass auch die Trockenheit das europäische Stromsystem im letzten Sommer auf den Prüfstand. In diesem Abschnitt wird deshalb die Abweichung der tatsächlichen Stromproduktion von PV und AKW von der Norm in den vergangenen Jahren untersucht.

Abbildung 6 zeigt die minimale und maximale Abweichung der jährlichen Stromproduktion vom fünfjährigen Durchschnitt. Die jährliche Stromproduktion wird für die Vergleichbarkeit als Index angezeigt, aber auch weil die PV-Leistung ja jedes Jahr zugenommen hat. Die Abbildung zeigt, dass die Sonnenstromproduktion von einem Jahr zum nächsten zwar mehr variiert als die Laufwasserkraft. Die Stromproduktion aus AKW, die heute einen grossen Anteil der jährlichen Stromproduktion in der Schweiz liefern, ist aber noch grösseren Schwankungen unterworfen. Dies ist auf die Grösse und somit das Ausfallrisiko von AKWs zurückzuführen, wie dies in Frankreich letztes Jahr erfolgt ist. Sobald ein AKW ungeplant ausfällt, fällt auf einmal viel Stromproduktion weg und die Versorgungssituation wird angespannt wird.²⁷

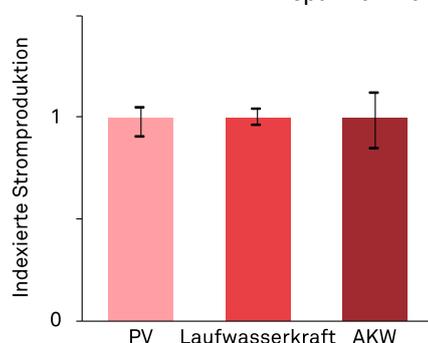


Abbildung 6. Indexierte jährliche Stromproduktion aus PV, Laufwasserkraft und AKW in der Schweiz. Durchschnitt über die letzten 5 Jahre (2017-2021). Zusätzlich angegeben sind die in diesem Zeitraum erreichten Minimal- und Maximalwerte.²⁸

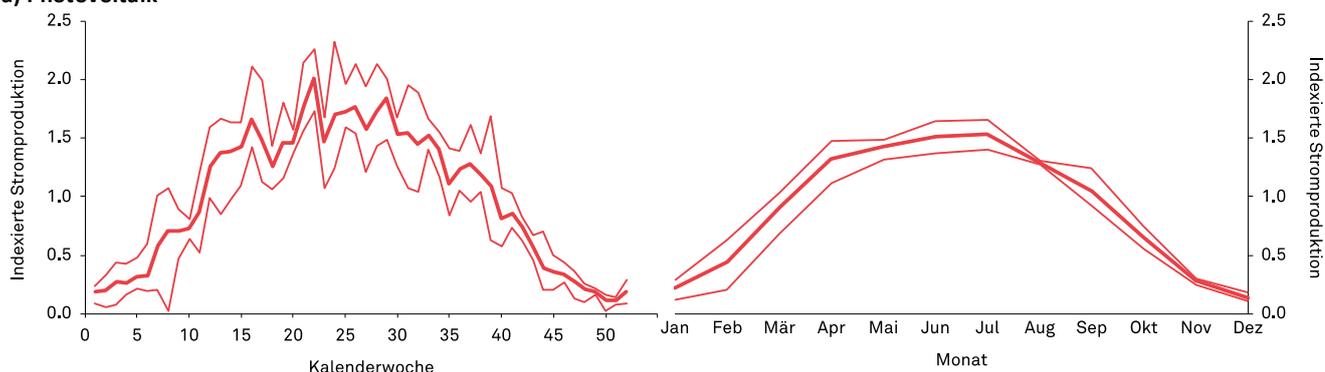
Interessant ist es, wenn der Betrachtungszeitraum verkürzt wird. Abbildung 7 zeigt die durchschnittliche wöchentliche und monatliche Stromproduktion aus PV und AKW und die Minimal- und Maximalwerte. Die linke Abbildung 7a zeigt, dass die PV-Stromproduktion von einer zur nächsten Woche in hohem Masse variieren kann. Diese Varianz nimmt aber ab, werden die monatlichen Durchschnittswerte in der rechten Abbildung 7a betrachtet. Dies bedeutet, dass die PV-Stromproduktion auf einige Tage genau zwar schwer antizipiert werden kann, über längere Zeiträume aber relativ stabil ist. Interessanterweise nimmt absolut gesehen die Varianz vor allem im Winter ab, was zusätzlich zu einer höheren Versorgungsqualität beiträgt. Die beiden Grafiken in Abbildung 7b hingegen zeigen, dass die Strompro-

²⁷ Siehe dazu auch Kendziorski, M. et al. (2022). Resilienz in der Schweizer Energieversorgung auf dem Weg zur Klimaneutralität – Ein modell-basierter Szenarienvergleich für 2035. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung DIW, Berlin. In Kooperation mit der Schweizerischen Energie-Stiftung SES.

²⁸ Datenquellen: Schweizerische Elektrizitätsstatistik und Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien.

duktion aus AKW in hohem Masse von der (erwarteten) Durchschnittsproduktion abweichen kann und dies sowohl über einen kurzen aber auch über einen längeren Betrachtungszeitraum. Das bedeutet, dass die AKW-Stromproduktion grundsätzlich schwieriger planbar ist.

a) Photovoltaik



b) AKW

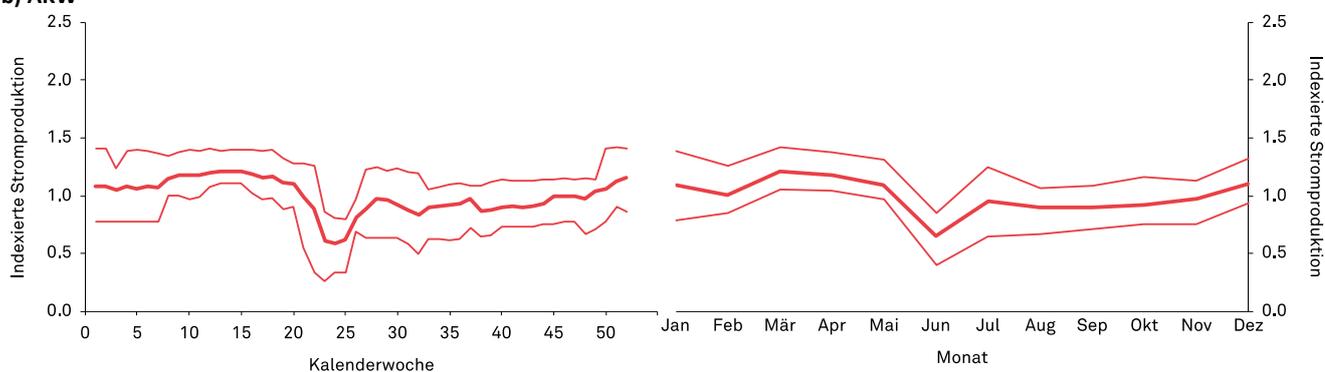
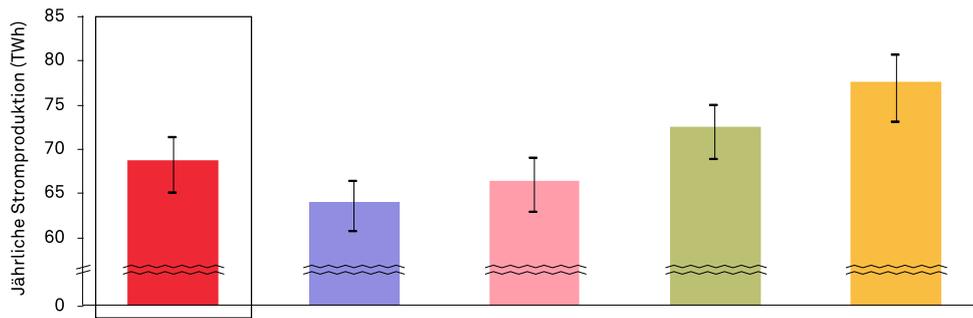


Abbildung 7. Indexierte Stromproduktion aus a) PV und b) AKW in der Schweiz. Wöchentliche (links) und monatliche (rechts) Durchschnittswerte über die letzten fünf Jahre (2017-2021). Zusätzlich angegeben sind die in diesem Zeitraum erreichten Minimal- und Maximalwerte.²⁹

Abbildung 8 zeigt, wie sich die Varianz in der zu erwartenden Stromproduktion auf die berechnete Stromproduktion im Jahr 2025 in den Szenarien auswirkt. So zeigt Szenario 4 absolut die höchste Varianz. Dies ist damit begründet, dass in diesem Szenario die Stromproduktion höher ausfällt als in den anderen Szenarien. Die relative Varianz – das heisst, die Abweichung des durchschnittlichen Strommixes – wird nämlich kleiner, je geringer der Anteil an AKW-Strom ist. Dies zeigt sich in Szenario 1 mit der anteilmässig grössten Atomstromproduktion und auch der grössten Varianz. Zusammengefasst bedeutet dies, dass die Versorgungsqualität vom Strommix abhängt und mit grösserem Anteil an erneuerbaren und dezentralen Stromtechnologien zunimmt.

²⁹ Datenquelle: ENTSO-E Transparency Platform.

a) Stromproduktion 2025 und mögliche Abweichung vom Durchschnitt



b) Mögliche relative Abweichung der PV- und AKW-Stromproduktion

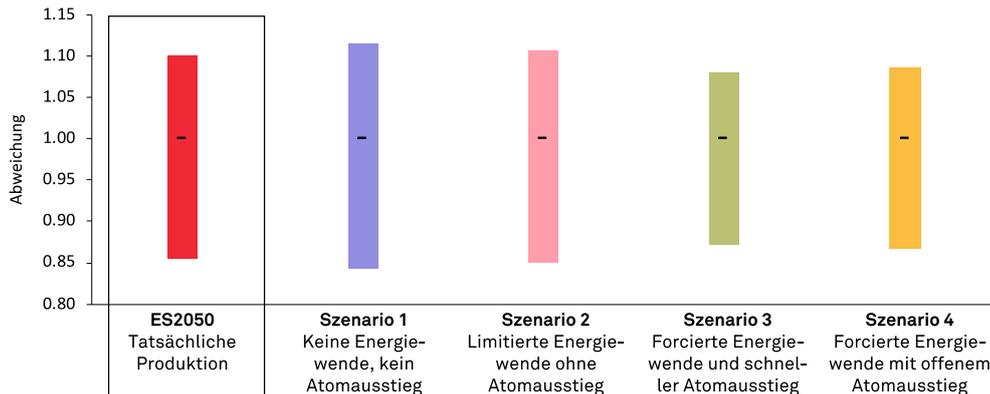


Abbildung 8. a) Absolute Stromproduktion in den Szenarien und mit der Energiestrategie 2050 im Jahr 2025 sowie b) die mögliche relative Abweichung der PV- und AKW-Stromproduktion basierend auf der durchschnittlichen Stromproduktion über die letzten fünf Jahre (2017-2021) und die in diesem Zeitraum erreichten Minimal- und Maximalwerte.

Eine nachhaltige Stromversorgung beinhaltet neben der Versorgungssicherheit zwei weitere wichtige Parameter: die Umweltfreundlichkeit und die Wirtschaftlichkeit.³⁰ Die verschiedenen Szenarien werden in der Folge in Bezug auf diese zwei Faktoren diskutiert.

6. Umweltfreundlichkeit der Stromproduktion in den Szenarien

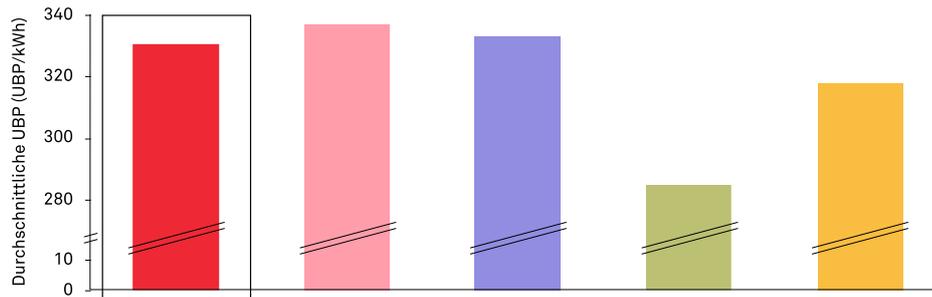
Die Stromproduktion kann die Umwelt verschiedentlich beeinflussen. Ein wichtiger und viel diskutierter Einflussfaktor sind die Treibhausgasemissionen, die durch den Betrieb der Kraftwerke freigesetzt werden und die die Klimaerwärmung vorantreiben. Es gibt jedoch in der gesamten Wertschöpfungskette der Stromproduktion – von der Herstellung der elektrischen Komponenten und Gewinnung der Energieträger bis zu deren Entsorgung – Belastungen für die Umwelt. Diese werden durch die Methode der ökologischen Knappheit erfasst und anhand von Umweltbelastungspunkten (UBP) quantifiziert.³¹ In dieser Studie wurden die durchschnittlichen Umweltbelastungspunkte pro produzierter Einheit Strom für die verschiedenen Szenarien berechnet (siehe Anhang für Details).³² Zusätzlich wurden auch die durchschnittlich ausgestossenen Treibhausgasemissionen erhoben, da diese wie erwähnt einen zwar unvollständigen aber im Licht der Klimaerwärmung wichtigen Kennwert erfassen.

³⁰ Für eine detaillierte Nachhaltigkeitsdiskussion der Energiestrategie 2050 siehe Hälg, L., Epprecht, N., Nipkow, F., Lüscher, F. (2022). Zurück zur Vision – 5 Jahre Ja zur Energiestrategie 2050. White Paper. Schweizerische Energie-Stiftung SES: Zürich.

³¹ BAFU (2021). Ökofaktoren Schweiz 2021 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit. Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 2121: 260 S.

³² Die Berechnung ist insofern verifiziert, als dass die berechneten durchschnittlichen Umweltbelastungspunkte für die tatsächliche Stromproduktion im Jahr 2021 mit 330 Punkten pro Kilowattstunde den in der benutzten Datenquelle für den Schweizer Stromproduktionsmix 2021 ausgewiesenen 329 Punkten pro Kilowattstunde entsprechen.

a) Umweltbelastung der Stromproduktion 2021



b) Treibhausgasemissionen der Stromproduktion 2021

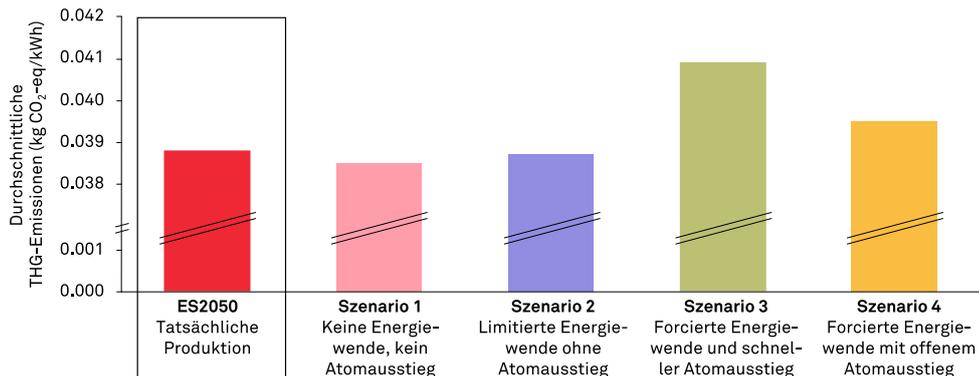


Abbildung 9. a) Durchschnittliche Umweltbelastungspunkte (UBP) und b) durchschnittliche Treibhausgasemissionen der Stromproduktion im Jahr 2021 in den Szenarien und tatsächlich.

Abbildung 9 zeigt die Umweltbelastung in Form der durchschnittlichen Umweltbelastungspunkten und der durchschnittlichen Treibhausgasemissionen der Stromproduktionsmixe im Jahr 2021 in den verschiedenen Szenarien und tatsächlich. Der Vergleich der Grafiken zeigt, dass der massive PV-Ausbau in den Szenarien 3 und 4 zu einer tieferen durchschnittlichen Umweltbelastung des Strommixes führt, die durchschnittlichen Treibhausgasemissionen in diesen Szenarien jedoch höher sind als in den anderen Szenarien. Hier sei angemerkt, dass die in dieser Studie verwendeten Zahlen für die Treibhausgasemissionen für die verschiedenen Stromproduktionstechnologien in anderen Publikationen durchaus anders ausfallen. Dies ist vor allem für Atomstrom der Fall, für den hier ein Wert von 24 Gramm CO₂-Äquivalente pro Kilowattstunde verwendet wurde. Jedoch zeigt beispielsweise eine Metastudie, dass die Treibhausgasemissionen von AKW zwischen 1.4 und 288 Gramm CO₂-Äquivalenten pro Kilowattstunde variieren können.³³ Somit ist es auch gut möglich, dass die Treibhausgasemissionen von Atomstrom die von PV (hier 48 gCO₂eq/kWh) weitaus übertreffen und die Szenarien 3 und 4 auch in diesem Merkmal besser abschneiden.

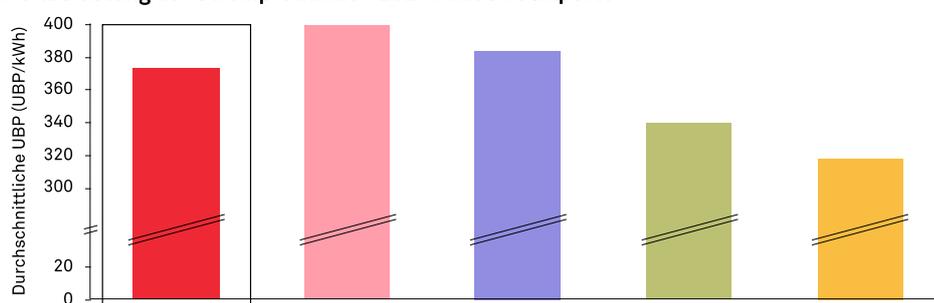
Bei der gesamten Umweltbelastung schneidet die Photovoltaik fast fünfmal besser ab als AKW. Denn AKW produzieren zwar relativ klimafreundlich Strom³⁴, die ganzen weiteren Umweltauswirkungen wie Schadstoffemissionen, Schwermetalle, radioaktive Abfälle etc., die in den Umweltbelastungspunkten gemessen werden, sind jedoch sehr hoch. Wichtig zu berücksichtigen ist in diesem Zusammenhang auch, dass die Berechnung der durchschnittlichen Umweltbelastungspunkte und der Treibhausgasemissionen anhand der Anteile der verschiedenen Stromproduktionstechnologien am Strommix durchgeführt wurde. In den verschiedenen Szenarien wird aber von einer unterschiedlichen Menge an produziertem

³³ Sovacool, B. (2008). Valuing the greenhouse gas emissions from nuclear power: A critical survey. *Energy Policy* 36, 2950-2963.

³⁴ Die Angaben zur CO₂-Intensität von Atomstrom unterliegen grossen Unsicherheiten. Das IPCC geht von 4-110 g/kWh aus (Bruckner et al. (2014). *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change – Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*). Für die bestehenden Schweizer AKW wird von 23-25 g/kWh ausgegangen. Diese Werte werden in Zukunft zunehmen, weil die Brennstoffbeschaffung aufwändiger wird.

Strom ausgegangen. So liegt die Stromproduktion im Jahr 2021 im Szenario 4 mit der forcierten Energiewende und offenem Atomausstieg fast fünf Terawattstunden über der tatsächlichen Stromproduktion in diesem Jahr von 64.2 Terawattstunden, während in Szenario 1 ohne Energiewende und ohne Atomausstieg 2.3 Terawattstunden weniger produziert worden wären (siehe Abbildung 2). Dies bedeutet, dass in Szenario 4 die Mehrproduktion Stromimporte verhindert und in Szenario 1 die Minderproduktion mehr Stromimporte verursacht hätte. Importstrom schneidet sowohl bei der Umweltbelastung, als auch bei den Treibhausgasemissionen relevant viel schlechter ab, als die Stromproduktion in der Schweiz. Die Umweltbelastung von Importstrom ist um ein Viertel schlechter als die von Atomstrom und über sechsmal schlechter als die von Photovoltaik, während die Treibhausgasemissionen zehn-, respektive zwanzigmal höher liegen als die von Photovoltaik und Atomstrom. Unter Berücksichtigung des Importstroms im Strommix schneidet Szenario 4 sowohl bei der Umweltbelastung als auch bei den Treibhausgasemissionen am besten ab, während Szenario 1 bei beiden Messgrößen am schlechtesten abschneidet (siehe Abbildung 10).

a) Umweltbelastung der Stromproduktion 2021 inklusive Importe



b) Treibhausgasemissionen der Stromproduktion 2021 inklusive Importe

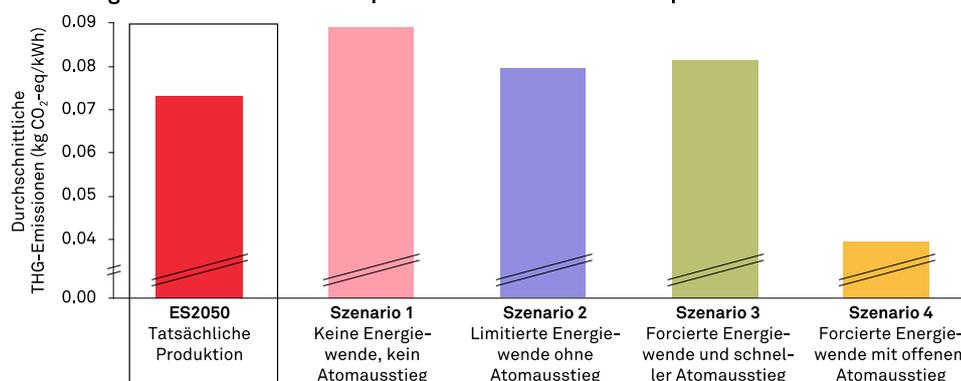


Abbildung 10. a) Durchschnittliche Umweltbelastungspunkte (UBP) und b) durchschnittliche Treibhausgasemissionen der Stromproduktion im Jahr 2021 in den Szenarien und tatsächlich. In dieser Abbildung sind zusätzlich die Umweltbelastung und Treibhausgasemissionen der Stromimporte berücksichtigt.

7. Kosten der Stromproduktion in den Szenarien

Die Kosten der Stromproduktion in den Szenarien sind schwierig zu quantifizieren. Denn neben den Stromgestehungskosten einzelner Technologien gibt es weitere Faktoren wie indirekte Kosten aber auch nicht monetär berechenbare Kosten der Stromproduktion, die berücksichtigt werden können. Aus diesem Grund werden an dieser Stelle nur mögliche Kosten diskutiert und es wird auf eine umfassende Berechnung der direkten und indirekten Kosten verschiedener Strommixe verzichtet.

Wird rein auf die Gestehungskosten der einzelnen Stromproduktionstechnologien fokussiert, ist der Ersatz existierender und bereits abgeschriebener Atomkraftwerke durch neue PV-Anlagen wirtschaftlich uninteressant. Denn in der Schweiz kann für Photovoltaik von Gestehungskosten zwischen 6 und 13 Rappen pro Kilowattstunde ausgegangen werden – je

nach Grösse der Anlage, während sie für die existierenden AKW in der Schweiz wohl zwischen 4 und 8 Rappen pro Kilowattstunde liegen. Nur fehlen in dieser Betrachtung verschiedene Faktoren:

- Erstens fällt die gesamte Stromproduktion in den verschiedenen Szenarien unterschiedlich hoch aus. Dies bedeutet, dass allfällige Stromimporte zur Deckung der Stromnachfrage auch bezahlt werden müssten. Während sich der Strompreis am Grosshandelsmarkt in den Zehnerjahren um fünf Rappen pro Kilowattstunde bewegte, betrug er im Jahr 2021 durchschnittlich 11.5 Rappen pro Kilowattstunde und erreichte im Jahr 2022 ein Maximum von mehr als 85 Rappen pro Kilowattstunde.³⁵ Die hohen Preisschwankungen an der Strombörse und der Effekt der ungeplanten Abschaltung zahlreicher französischer AKW und des Ukraine-Kriegs auf diese Preise illustrieren, dass es schwierig ist, den Wert inländischer Stromproduktion im Vergleich zu Stromimporten zu quantifizieren. Der Vorteil des Ausbaus der Stromproduktionskapazitäten im Inland besteht jedoch darin, dass die Abhängigkeit der Schweiz von unsicheren und womöglich teuren Stromimporten reduziert werden kann. Besteht dieser Ausbau aus erneuerbaren Stromproduktionstechnologien können zusätzlich Preisschwankungen im Inland unterbunden werden. Denn die erneuerbare Stromproduktion zeichnet sich im Vergleich zur fossilen Stromproduktion durch höhere Investitionskosten aber relevant viel tiefere Betriebskosten aus, da keine Brennstoffe eingekauft werden müssen.³⁶ Dieser Vorteil der erneuerbaren Stromproduktion besteht auch im Vergleich zu den bestehenden AKW in der Schweiz, deren zukünftiger Investitionsbedarf für den Weiterbetrieb schwer abschätzbar ist. Dadurch ist bereits nach Erstellung einer erneuerbaren Stromproduktionsanlage relativ klar, wie viel jede produzierte Kilowattstunde Strom kostet.
- Zweitens bedeutet der Ausbau der inländischen Stromproduktionskapazitäten nicht nur die Reduktion von Stromimporten und damit zusammenhängenden Preisschwankungen, sondern eine generell erhöhte Versorgungssicherheit. Wie bereits in Kapitel 4.3 erwähnt, hätte durch die forcierte Energiewende im Szenario 4 bereits im Jahr 2021 im Winterhalbjahr das Zweieinhalbfache der für diesen Winter vom Bund für 296 Millionen Franken gesicherte Wasserreserve von 400 Gigawattstunden produziert werden können.³⁷ Es kann auch angenommen werden, dass die Ausgaben für die Reservekraftwerke in Birr und Cornaux, für deren Bereitstellung 400 Millionen respektive 9.15 Millionen Franken bezahlt wurden,³⁸ zu einem Grossteil hätten eingespart werden können. In den Szenarien 1 und 2 ohne oder mit nur minimalem PV-Ausbau wären zukünftige Investitionen in die kurzfristige Versorgungssicherheit im Winter nötiger, als in den anderen Szenarien. Denn einerseits ist der angenommene Ausbau der Stromproduktionskapazitäten in diesen Szenarien minimal, weshalb auch die Winterstromproduktion in den nächsten Jahren nicht relevant erhöht würde. Andererseits ist in diesen Szenarien aber auch die anteilmässige Abhängigkeit von Grosskraftwerken relevant viel höher, wodurch die Resilienz des gesamten Stromsystems geschwächt wird.³⁹ Denn fällt ein AKW aus, fällt anteilmässig ein grosser Teil der Stromproduktion weg.
- Drittens berücksichtigen die Gestehungskosten für Atomstrom nur einen Teil der tatsächlichen Vollkosten. Vorenthalten sind beispielsweise die Kosten für eine allfällige Reaktorkatastrophe, die der Bund im schlimmsten Fall auf bis zu 8'000 Milliarden Franken beziffert.⁴⁰ Auch die Rückstellungen für Stilllegung und Entsorgung der hochradioak-

³⁵ Stündlicher Börsenstrompreis «Day Ahead Auktion» für die Schweiz. Daten von Energy Charts (energy-charts.info).

³⁶ Siehe beispielsweise: Fraunhofer ISE (2021). Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien. Fraunhofer-Institut für solare Energiesysteme ISE: Freiburg im Breisgau.

³⁷ ElCom (2022). Ergebnisse der Ausschreibung Wasserkraftreserve. Medienmitteilung vom 25.10.2022; BFE (2022)

³⁸ BFE (2022). Faktenblatt Reservekraftwerk Birr. Stand 7. November 2022; UVEK (2022). Energie: Bund unterzeichnet Vertrag für ein zweites Reservekraftwerk. Medienmitteilung vom 22.12.2022.

³⁹ Kendzioriski, M. et al. (2022). Resilienz in der Schweizer Energieversorgung auf dem Weg zur Klimaneutralität – Ein modell-basierter Szenarienvergleich für 2035. Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung DIW, Berlin. In Kooperation mit der Schweizerischen Energie-Stiftung SES

⁴⁰ Bundesrat (2015). Haftungsrisiko des Staates bezüglich Atomkraftwerken. Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulates 11.3356 von Nationalrat Vischer Daniel vom 13. April 2011.

tiven Abfälle sind hinsichtlich der eingerechneten Risikomarchen nicht ausreichend.⁴¹ Schliesslich sind in keinem der Szenarien die Kosten der Umweltbelastung, der Klimawirkung der Stromproduktion und des Netzausbaus miteinberechnet.

8. Diskussion und Fazit

Die Energiestrategie 2050 ist ein Erfolg. Einerseits wurden alle für 2020 gesteckten Ziele erreicht.⁴² Andererseits zeigen die vorliegenden Berechnungen, dass nur der massive Ausbau der erneuerbaren Energien und – wie in der vorliegenden Studie gezeigt – der Photovoltaik in den letzten fünf Jahren zu einer relevanten Erhöhung der tatsächlichen Stromproduktion und so zu einer gewissen Entspannung in der kurzfristigen Stromversorgungslage geführt hätte. Dies ist vor dem Hintergrund zu verstehen, dass diese Mangellage mehrheitlich auf internationalen Entwicklungen beruht, die das gesamte europäische Stromnetz betreffen und auf diese eine kleine Erhöhung oder Reduktion der Stromproduktion in der Schweiz nur wenig Einfluss hat.

In der vorliegenden Studie wurde die Stromproduktion heute und im Jahr 2025 untersucht. Dieser Zeitraum wurde gewählt, da einigermaßen verlässliche Aussagen zur Versorgungssicherheit gemacht werden können und Veränderungen der Rahmenbedingungen für die verschiedenen Technologien noch nicht einen allzu grossen Effekt aufweisen. So wird der zurzeit im eidgenössischen Parlament erarbeitete Mantelerlass, der die Revision des Energie- und des Stromversorgungsgesetzes umfasst, wohl frühestens Anfang 2025 in Kraft treten. Gleichwohl kann davon ausgegangen werden, dass sich die Stromproduktion bis auf den sich vergrössernden Anteil der erneuerbaren Energieträger auch mittelfristig nicht gross verändern wird. Angesichts des fakultativen Referendums, das gegen eine Rahmenbewilligung in jedem Fall ergriffen worden wäre und einer durchschnittlichen Bauzeit von 14 Jahren für Reaktoren der neuesten Generation in Westeuropa hätte ohne die Energiestrategie 2050 und ihr AKW-Neubauverbot auch im Jahr 2030 kein neues AKW in Betrieb genommen werden können.⁴³

Der weitere Ausbau der erneuerbaren Stromproduktion ist jedoch tatsächlich imperativ für die mittel- und langfristige Sicherstellung der Stromversorgung in der Schweiz. Denn durch die Sistierung des Rahmenabkommens mit der EU und des damit verbundenen Stromabkommens wird der Stromimport in Zukunft unsicher. Die für die sichere Stromversorgung zuständige eidgenössische Elektrizitätskommission rechnet damit, dass ab 2025 bis zu zehn Terawattstunden Strom im Winter fehlen könnten.⁴⁴ Dafür macht ein erhöhtes Ausbautempo bei den erneuerbaren Energien Sinn. Beispielsweise können neben der Photovoltaik vor allem auch Windenergieanlagen, die generell rund zwei Drittel ihrer jährlichen Stromproduktion im Winterhalbjahr liefern, die Stromversorgung im Winter sichern. Denn wie in dieser Analyse aufgezeigt, tragen erneuerbare Technologien in vielerlei Hinsicht zur Versorgungssicherheit bei und dies zu überschaubaren Kosten und in umweltfreundlicher Weise. Gleichzeitig ist sie auch rasch ausbaubar.

Um die Stromversorgung in Zukunft zu sichern, muss die Energiestrategie 2050 beschleunigt werden. Das Parlament hat es mit dem Mantelerlass in der Hand, die richtigen Weichen zu stellen. Der Entscheid des Ständerats, das Ausbauziel für das Jahr 2035 auf 35 Terawattstunden anzuheben und die finanziellen Rahmenbedingungen für die erneuerbaren Energietechnologien zu verbessern, ist vor diesem Hintergrund zu begrüssen.

⁴¹ Egli, N. (2013). Atomvollkosten – Was der Atomstrom wirklich kostet. Ellipson AG, Basel. Herausgegeben von der Schweizerischen Energie-Stiftung.

⁴² BFE (2021). Energiestrategie 2050 – Monitoring-Bericht 2021. Bundesamt für Energie, Bern.

⁴³ Siehe Fussnote 17. Die Erteilung einer Baubewilligung beträgt mindestens ein Jahr. Es ist absehbar, dass auch gegen eine Energiestrategie 2050 ohne AKW-Neubauverbot das Referendum ergriffen worden wäre. Das heisst ein neues AKW hätte erst nach 2017 bewilligt und gebaut werden können.

⁴⁴ ElCom (2020). Rahmenbedingungen für die Sicherstellung einer angemessenen Winterproduktion – Einschätzung der ElCom. Eidgenössische Elektrizitätskommission ElCom, Bern.

9. Anhang

9.1 Berechnung des Solarausbaus

Der Solarausbau wurde in den einzelnen Szenarien wie in Kapitel 3 erwähnt unterschiedlich berechnet. In Szenario 1 wurde davon ausgegangen, dass ab Abschaffung des Netzzuschlags und der Förderung der Solarenergie keine zusätzliche Leistung installiert worden wäre. Für das Szenario 2 wurde angenommen, dass sich die zusätzlich installierte Leistung nach der Höhe des Netzzuschlags proportional zur tatsächlich zugebauten Leistung (siehe Tabelle 2) entwickelt hätte. In den Szenarien 3 und 4 konnte der Solarausbau durch das Fehlen der Netzzuschlag-Obergrenze nicht proportional zum tatsächlichen Solarausbau berechnet werden. Aus diesem Grund wurde auf Zahlen aus Deutschland zurückgegriffen. Tatsächlich bestand dort ab 2004 bis 2012 eine ähnliche Ausgestaltung der PV-Förderung wie in der Schweiz aber ohne Deckelung der sogenannten EEG-Umlage. Deshalb wurde angenommen, dass sich die Zunahme der installierten PV-Leistung zwischen 2018 und 2021 in der Schweiz proportional zur Ausbaugeschwindigkeit zwischen 2004 und 2008 in Deutschland entwickelte.⁴⁵ Bei den Zahlen aus Deutschland wurde der Leistungszubau von Freiflächenanlagen anteilmässig ausgenommen.

Tabelle 2. Tatsächliche Entwicklung der installierten Leistung und der Stromproduktion aus Solarenergie 2009 bis 2021 in der Schweiz. Datenquelle: BFE. Statistik der Erneuerbaren Energien.

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Installierte Leistung (GW)	0.079	0.125	0.223	0.437	0.756	1.061	1.394	1.664	1.906	2.170	2.520	2.973	3.655
Zusätzlich installierte Leistung (GW)		0.046	0.098	0.214	0.319	0.305	0.333	0.270	0.242	0.264	0.350	0.453	0.682
Stromproduktion (TWh)	0.054	0.094	0.168	0.299	0.500	0.842	1.119	1.334	1.683	1.945	2.178	2.599	2.842
Volllaststunden (berechnet) (h)	684.3	747.0	753.9	686.0	662.4	793.5	802.4	801.4	883.2	896.2	864.1	874.0	777.5

Tabelle 3. Erhöhung der Ausbaurrate von PV-Dachanlagen in Deutschland im Vergleich zum Vorjahr.²⁸

	2005	2006	2007	2008
Steigerung der Zubaurate	1.8404	1.4100	1.3436	1.5022

Die jährliche Stromproduktion in den Szenarien wurde anhand der tatsächlichen jährlichen Volllaststunden berechnet. Dafür wurde die tatsächliche jährliche Stromproduktion durch die installierte Leistung geteilt. So wird in den Berechnungen die veränderliche jährliche Sonneneinstrahlung und die Ausrichtung der Anlagen berücksichtigt. Es ist wichtig zu beachten, dass so die Stromproduktion in den Szenarien 1 und 2 wohl überschätzt wird, da die jährlichen Volllaststunden auch die Effizienz der Module beinhaltet, die in den letzten Jahren zugenommen hat und in den beiden Szenarien in kleinerem Masse zum Tragen käme, da deren Solarausbau in den letzten Jahren tiefer gewesen wäre.

Für die Stromproduktion im Jahr 2025 in den Szenarien und mit der Energiestrategie 2050 wurde von einem linearen Zubau der PV-Kapazität ab 2021 ausgegangen, der mit den durchschnittlichen Volllaststunden der vergangenen fünf Jahren (2017-2021) von 859.0 Stunden pro Jahr multipliziert wurde.

⁴⁵ Daten von BMWK (2022). Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland. Stand Februar 2022. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, Berlin. Und Peper, D., Längle, S., Kost, C. (2022). Photovoltaikzubau in Deutschland in Zahlen – Auswertung des Marktstammdatenregisters und der EEG-Anlagenstammdaten. Fraunhofer-Institut für solare Energiesysteme ISE, Freiburg i. Br.

Tabelle 4. PV-Leistung und -Stromproduktion tatsächlich und in den Szenarien in den Jahren 2013-2021 und 2025.

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2025
Energiestrategie 2050										
Leistung (GW)	0.756	1.061	1.394	1.664	1.906	2.170	2.520	2.973	3.655	6.383
Stromproduktion (TWh)	0.500	0.842	1.119	1.334	1.683	1.945	2.178	2.599	2.842	5.483
Szenario 1 (Keine Energiewende, kein Atomausstieg)										
Leistung (GW)	0.756	0.756	0.756	0.756	0.756	0.756	0.756	0.756	0.756	0.756
Stromproduktion (TWh)	0.500	0.600	0.606	0.606	0.667	0.677	0.653	0.660	0.587	0.649
Szenario 2 (Limitierte Energiewende, kein Atomausstieg)										
Leistung (GW)	0.756	1.061	1.364	1.571	1.733	1.848	2.000	2.197	2.493	3.679
Stromproduktion (TWh)	0.500	0.842	1.094	1.259	1.530	1.656	1.728	1.920	1.938	3.160
Szenario 3 (Forcierte Energiewende und schneller Atomausstieg)										
Leistung (GW)	0.7556	1.061	1.394	1.664	1.906	3.507	4.945	6.645	9.982	16.779
Stromproduktion (TWh)	0.500	0.842	1.119	1.334	1.683	3.144	4.273	5.807	7.761	14.413
Szenario 4 (Forcierte Energiewende mit offenem Atomausstieg)										
Leistung (GW)	0.756	1.061	1.394	1.664	1.906	3.507	4.945	6.645	9.982	16.779
Stromproduktion (TWh)	0.500	0.842	1.119	1.334	1.683	3.144	4.273	5.807	7.761	14.413

9.2 Berechnung der jährlichen AKW-Stromproduktion

Bis 2021 wurde in den Szenarien die tatsächliche AKW-Stromproduktion angenommen, wobei in Szenario 3 im Jahr 2018 die Produktion von Beznau 1 und im Jahr 2021 die Produktion von Beznau 2 abgezogen wurde. Für das Jahr 2025 wurde die Leistung der in den jeweiligen Szenarien in Betrieb stehenden AKWs mit der durchschnittlichen Arbeitsausleistung der jeweiligen AKWs über die letzten fünf Jahre (2017-2021).⁴⁶

Tabelle 5. AKW-Leistung und -Stromproduktion tatsächlich und in den Szenarien in den Jahren 2013-2021 und 2025.

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2025
Energiestrategie 2050										
Leistung (GW)	3308	3333	3333	3333	3333	3333	2960	2960	2960	2960
Stromproduktion (TWh)	24.871	26.37	22.095	20.235	19.499	24.414	25.280	22.990	18.530	20.338
Szenario 1 (Keine Energiewende, kein Atomausstieg)										
Leistung (GW)	3308	3333	3333	3333	3333	3333	2960	2960	2960	2960
Stromproduktion (TWh)	24.871	26.37	22.095	20.235	19.499	24.414	25.280	22.990	18.530	20.338
Szenario 2 (Limitierte Energiewende, kein Atomausstieg)										
Leistung (GW)	3308	3333	3333	3333	3333	3333	2960	2960	2960	2960
Stromproduktion (TWh)	24.871	26.37	22.095	20.235	19.499	24.414	25.280	22.990	18.530	20.338
Szenario 3 (Forcierte Energiewende und schneller Atomausstieg)										
Leistung (GW)	3308	3333	3333	3333	3333	3333	2595	2595	2230	2230
Stromproduktion (TWh)	24.871	26.370	22.095	20.235	19.499	24.414	22.465	20.243	12.680	15.260
Szenario 4 (Forcierte Energiewende mit offenem Atomausstieg)										
Leistung (GW)	3308	3333	3333	3333	3333	3333	2960	2960	2960	2960
Stromproduktion (TWh)	24.871	26.37	22.095	20.235	19.499	24.414	25.280	22.990	18.530	20.338

9.3 Berechnung der Umweltbelastung und Treibhausgasemissionen

Die Berechnung der durchschnittlichen Umweltbelastung und der Treibhausgasemissionen der Strommixe in den Szenarien wurden anhand der Daten in Tabelle 6 berechnet. Dabei wurden die Anteile der verschiedenen Technologien an der Stromproduktion im Jahr 2021 in Tabelle 7 mit den entsprechenden Umweltbelastungspunkten und Treibhausgasemissionen aus Tabelle 6 multipliziert. Erstes wurden die UBP der tatsächlichen Strompro-

⁴⁶ Daten von BFE (2022). Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2021.

duktion im Jahr 2021 berechnet. Der Wert von 330 UBP/kWh entspricht dabei den in den Ökobilanzdaten angegebenen rund 329 UBP/kWh für den Schweizer Produktionsmix. Somit konnte die Berechnung validiert werden.

Tabelle 6. Umweltbelastungspunkte und Treibhausgasemissionen verschiedener Stromproduktionstechnologien in der Schweiz. Daten von KBOB, ecobau, IPB (2022). Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2022.

Technologie	Umweltbelastungspunkte (UBP/kWh)	Treibhausgasemissionen (kgCO ₂ eq/kWh)
PV	151	0.048
AKW	675	0.024
Wasserkraft	77	0.012
Pumpspeicherwasserkraft	666	0.169
KVA	55.6	0.007
Wind	110	0.028
Holz	172	0.038
Biogas Landwirtschaft	232	0.155
Biogas	411	0.322
Importe (ENTSO-E-Mix)	935	0.523

Tabelle 7. Stromproduktion 2021 in den Szenarien nach Technologie.

	PV	AKW	Wasserkraft	Pumpspeicher	KVA	Wind	Holz	Biogas LW	Biogas
Energiestrategie 2050									
Stromproduktion (TWh)	2.84	18.50	31.21	8.29	2.30	0.15	0.48	0.19	0.21
Anteil an Stromproduktion	4.4%	28.8%	48.6%	12.9%	3.6%	0.2%	0.8%	0.3%	0.3%
Szenario 1 (Keine Energiewende, kein Atomausstieg)									
Stromproduktion (TWh)	0.59	18.50	31.21	8.29	2.30	0.15	0.48	0.19	0.21
Anteil an Stromproduktion	0.9%	29.9%	50.4%	13.4%	3.7%	0.2%	0.8%	0.3%	0.3%
Szenario 2 (Limitierte Energiewende, kein Atomausstieg)									
Stromproduktion (TWh)	1.94	18.50	31.21	8.29	2.30	0.15	0.48	0.19	0.21
Anteil an Stromproduktion	3.1%	29.2%	49.3%	13.1%	3.6%	0.2%	0.8%	0.3%	0.3%
Szenario 3 (Forcierte Energiewende und schneller Atomausstieg)									
Stromproduktion (TWh)	7.76	12.68	31.21	8.29	2.30	0.15	0.48	0.19	0.21
Anteil an Stromproduktion	12.3%	20.0%	49.3%	13.1%	3.6%	0.2%	0.8%	0.3%	0.34%
Szenario 4 (Forcierte Energiewende mit offenem Atomausstieg)									
Stromproduktion (TWh)	7.76	18.50	31.21	8.29	2.30	0.15	0.48	0.19	0.21
Anteil an Stromproduktion	11.2%	26.8%	45.2%	12.0%	3.3%	0.2%	0.7%	0.3%	0.3%