Vergleich Stromszenarien Schweiz 2035

Von Rolf Iten

Zweck des Papiers

- Viele Stromszenarien sind mittlerweile verfügbar, welche die Entwicklungen von Stromnachfrage und -angebot auf Basis von komplexeren und einfacheren Modellanalysen abbilden.
- Mit dem Axpo Powerswitcher ist ein patentes Tool verfügbar, welches einen Vergleich wichtiger Ergebnisse verschiedener Szenarien ermöglicht (https://powerswitcher.axpo.com/).¨
- Grundsätzlich sind Vergleiche für beliebige Stichjahre bis 2050 möglich; hier fokussieren wir auf den Zeithorizont 2035 (Ausnahme Szenariokosten liegen nur bis 2050 vor).
- Es werden mit diesem Tool ausgewählte Szenarien bezüglich relevanter Ergebnisparameter verglichen –für Jahresbilanz und Sommer-/Winterhalbjahresbilanz. Folgende Parameter werden verglichen:
  - Stromnachfrage
  - Stromproduktion Erneuerbare Energien
  - Stromproduktion Konventionelle Energien
  - Stromimporte
  - Szenariokosten Sicht Investor sowie Sicht Investor und Gesellschaft

Ausgewählte Szenarien

Für den Vergleich haben wir die Daten folgender Autoren verglichen:

- Energieperspektiven 2050+
- Axpo Erneuerbare
- Swisssolar
- Economiesuisse
- Grossen
- Wasserfallen

Weiter Szenarien haben wir – der Übersichtlichkeit geschuldet – weggelassen. Diese können problemlos im Tool zusätzlich abgebildet werden.

Stromnachfrage

Die folgenden Tabellen zeigen die Schätzungen der Stromnachfrage und der Importe für das Jahr 2035 sowie die resultierenden Überschüsse. Allfällige Defizite in der Winterstromproduktion werden in allen Analysen durch Importe im Winterhalbjahr kompensiert.in der

Tabelle 1: Stromnachfrage und -importe 2035 gemäss ausgewählten Szenarien

	Axpo Erneuerbare	Energieper-spektiven 2050+	Swisssolar	Economie-suisse	Grossen	Wasserfallen
Nachfrage	72,84	68,24	75,02	68,78	76,4	68,85
Import	6,81	16,53	9,96	4	2,26	5,69
Überschuss	11,44	5,79	5,98	17,18	12,58	8,95

Die Schätzungen der Stromnachfrage 2035 liegen zwischen dem von den Energieperspektiven ermittelten Wert von 68 TWh von Swisssolar bzw. Grossen geschätzten Werten von 75 bzw. gut 76 TWh. In der Jahresbilanz resultieren bei allen Szenarien Überschüsse

Tabelle 2: Stromnachfrage und -importe 2035 Winterhalbjahr

	Axpo Erneuerbare	Energieper-spektiven 2050+	Swisssolar	Economie-suisse	Grossen	Wasserfallen
Nachfrage	40,40	35,59	40,48	38,66	38,62	38,89
Import	6,81	15,73	9,96	4,00	2,26	5,69
Überschuss	-	-	-	0,66	0,64	-

In der Bilanz für das Winterhalbjahr fällt der hohe Bedarf an Importen gemäss den Energieperspektiven 2050+ auf. Hier schlagen die Abschaltung der KKW und der zögerliche Ausbau der erneuerbaren Stromproduktion zu Buche. Die Nachfrageschätzungen liegen in einer ähnlichen Grössenordnung.

Tabelle 3: Stromnachfrage und -importe 2035 Sommerhalbjahr

	Axpo Erneuerbare	Energieper-spektiven 2050+	Swisssolar	Economie-suisse	Grossen	Wasserfallen
Nachfrage	32,44	29,66	35,54	30,12	37,78	29,96
Import	-	0,8	-	-	-	-
Überschuss	11,44	5,79	5,98	16,52	11,94	8,95

Im Sommerhalbjahr resultieren bei allen Analysen signifikante Überschüsse, die allerdings eine grosse Bandbreite von gut 5 bis 16 TWh aufweisen. Hauptursache für die Differenzen sind wiederum die Annahmen betreffend Abschaltdatum der KKW und der Dynamik beim Ausbau der erneuerbaren Stromproduktion.

Stromproduktion Erneuerbare Energien

Tabelle 4: Stromproduktion Inland 2035 gemäss ausgewählten Szenarien

	Axpo Erneuerbare	Energieper-spektiven 2050+	Swisssolar	Economie-suisse	Grossen	Wasserfallen
PV Freifläche	0,43	0,19	-	-	4,38	-
PV Dach	14,25	15,5	23,69	16,38	18,46	9,67
PV alpin	3,88	0	0	2,06	1,58	-
Wind Onshore	1,22	1,09	1,61	0,14	1,08	0,46
Laufwasserkraft	18,14	18,78	18,14	19,58	19,12	18,66
Speicherkraft	17,66	18,41	17,66	18,94	18,59	18,88
Biomasse	2,86	2,18	2,98	4,14	3,13	2,48
CCS Biomasse	0,12	0,16	-	-	-	-
Geothermie	0,13	0,1	-	-	-	-
Total	**58,69**	**56,41**	**64,08**	**61,24**	**66,34**	**50,15**

Die erneuerbare Stromproduktion im Jahr 2035 wird recht unterschiedlich eingeschätzt. Relativ vorsichtig/pessimistisch sind die Schätzungen von Wasserfallen und der Energieperspektiven 2050+. Die Schätzungen von Grossen und Swisssolar bilden den oberen Rand der Schätzungen. Economiesuisse und das Axpo-Szenario «Erneuerbare» liegen im mittleren Bereich.

Tabelle 5: Stromproduktion Inland 2035 Winterhalbjahr

	Axpo Erneuerbare	Energieper-spektiven 2050+	Swisssolar	Economie-suisse	Grossen	Wasserfallen
PV Freifläche	0,13	0,06	-	-	1,27	-
PV Dach	4,41	4,8	7,33	5,07	5,71	2,99
PV alpin	1,94	0	0	1,03	0,79	-
Wind Onshore	0,72	0,64	0,95	0,08	0,63	0,27
Laufwasserkraft	6,26	6,48	6,26	6,76	6,6	6,44
Speicherkraft	8,52	8,89	8,52	9,14	8,97	9,11
Biomasse	1,58	1,2	1,64	2,28	1,73	1,37
CCS Biomasse	0,07	0,09	-	-	-	-
Geothermie	0,06	0,05	-	-	-	-
Total	**23,69**	**22,21**	**24,7**	**24,36**	**25,7**	**20,18**

Die Schätzungen für das Winterhalbjahr liegen insgesamt in einer ähnlichen Grössenordnung. Auffällig ist, dass der Stellenwert von PV alpin null bzw. relativ gering ist. Die Technologie hat im Szenario Axpo Erneuerbare die deutlich grösste Bedeutung. PV-Freiflächen-Anlagen habe nur im Szenario Grossen eine relevantere Bedeutung.

Tabelle 6: Stromproduktion Inland 2035 Sommerhalbjahr

	Axpo Erneuerbare	Energieper-spektiven 2050+	Swisssolar	Economie-suisse	Grossen	Wasserfallen
PV Freifläche	0,31	0,14	-	-	3,11	-
PV Dach	9,84	10,7	16,36	11,31	12,74	6,67
PV alpin	1,93	0	0	1,03	0,79	-
Wind Onshore	0,5	0,45	0,66	0,06	0,44	0,19
Laufwasserkraft	11,88	12,3	11,88	12,82	12,52	12,22
Speicherkraft	9,14	9,53	9,14	9,8	9,62	9,77
Biomasse	1,29	0,98	1,34	1,86	1,41	1,11
CCS Biomasse	0,05	0,07	-	-	-	-
Geothermie	0,07	0,05	-	-	-	-
Total	**35,01**	**34,22**	**39,38**	**36,88**	40**,63**	**29,96**

Die Schätzungen für das Sommerhalbjahr liegen in einer ähnlichen Grössenordnung zwischen 35 und 40 TWh. Die Schätzung von Wasserfallen mit knapp 30 TWh interpretieren wir als Ausreisser gegen unten.

Stromproduktion nicht erneuerbare Energien

Tabelle 7: Stromproduktion nicht erneuerbare Energien 2035

	Axpo Erneuerbare	**Energieper-spektiven 2050+**	**Swisssolar**	**Economie-suisse**	**Grossen**	**Wasserfallen**
Kernenergie	17,3	-	-	20,13	17,3	17,3
Fossile KW	1,48	0,95	6,96	0,6	3,08	4,71
Reserve-KW	-	0,13	-	-	-	-
Total	**18,78**	**0,95**	**6,96**	**20,73**	**20,38**	**22,01**

Entscheidend ist die Annahme bezüglich der Laufdauer der KKW. Vier Analysen gehen von einem späteren Abschaltdatum aus. Entsprechen variieren die Produktionsvolumina von knapp 1 TWh in den Energieperspektiven 2050+ bis zu gut 20 TWh bei Economiesuisse und Grossen. Weiter gibt es signifikante Unterschied bei den Annahmen bezüglich der Bedeutung fossiler Kraftwerke. Hier fällt mit knapp 7 TWh der hohe Schätzwert von Swisssolar auf.

Tabelle 8: Stromproduktion nicht erneuerbare Energien 2035 Winterhalbjahr

	Axpo Erneuerbare	**Energieper-spektiven 2050+**	**Swisssolar**	**Economie-suisse**	**Grossen**	**Wasserfallen**
Kernenergie	9,16	-	-	10,66	9,16	9,16
Fossile KW	0,74	-	5,82	0,3	2,13	3,85
Total	**9,9**	**0**	**5,82**	**10,96**	**11,29**	**13,01**

Die Schätzungen für die Winterhalbjahresbilanz sind ebenfalls geprägt durch die Annahme betreffend Laufdauer der KKW. Zwei Szenarien nehmen an, dass die KKW im Jahr 2035 abgeschaltet sein werden. Kompensiert wird der resultierende inländische Produktionsrückgang einerseits durch Importe (Energieperspektiven 2050+) und andererseits (zum Teil) durch fossile Kraftwerke (Swisssolar).

Tabelle 9: Stromproduktion nicht erneuerbare Energien 2035 Sommerhalbjahr

	Axpo Erneuerbare	Energieper-spektiven 2050+	Swisssolar	Economie-suisse	Grossen	Wasserfallen
Kernenergie	8,14	-	-	9,47	8,14	8,14
Fossile KW	0,74	0,48	0,74	0,3	0,95	0,8
Total	8,88	0,48	0,74	9,77	9,09	8,94

Die Ergebnisse für das Sommerhalbjahr fallen analog wie oben dargestellt aus. Grosse Unterschiede ergeben sich wiederum aufgrund des angenommenen Abschaltdatums für die KKW.

Szenariokosten bis 2050

Tabelle 10: Summe Produktionskosten der Szenarien bis 2050[1]

	Axpo Erneuerbare	Energieper-spektiven 2050+	Swisssolar	Economie-suisse	Grossen	Wasserfallen
Investor	197,91	204,48	217,88	208,06	213,07	187,14
Inv+Sozial	293,19	284,32	344,06	299,24	324,42	274,74

Erläuterungen:

- *Kosten sind die summierten Produktionskosten des Szenarios bis 2050, aufgeteilt nach Technologien. Wird die Sicht «Investor» gewählt sind dies fixe und variable Kosten des Investors. Bei Sicht «Sozial» sind dies zusätzlich die sozialen Kosten.*
- *Fixe Kosten des Investors beinhalten Kosten für die Errichtung sowie den Rückbau und die Endlagerung von Abfällen, inkl. Nuklearabfälle.*
- *Variable Kosten des Investors beinhalten Kosten für Brennstoff und CO2 Emissionszertifikate (EU ETS) sowie weitere Betriebskosten.*
- *Soziale Kosten beinhalten weitere Kosten wie Netzausbau und Systemkosten, weiterer Umweltschaden durch Treibhausgasemissionen und sonstige Faktoren, sowie Ressourcen- und Landverbrauch.*
- *Einnahmen werden berechnet unter Berücksichtigung der relativen Wertigkeit des Stroms der Technologie. Z.B. produzieren Hydro Speicher in wertvollen Winter-«peak»-Stunden, nicht-alpines PV weitgehend in weniger wertvollen Sommerstunden. Bei PV Dachfläche werden durch Eigenverbrauch gesparte Kosten berücksichtigt. Ergebnis ist die Differenz von*

[1] Kosten sind die summierten Produktionskosten des Szenarios bis 2050, aufgeteilt nach Technologien. Wird die Sicht «Investor» gewählt sind dies fixe und variable Kosten des Investors. Bei Sicht «Sozial» sind dies zusätzlich die sozialen Kosten.

Einnahmen und Kosten. Ist es negativ (bei Auswahl «Investor»), sind für neue Kraftwerke Subventionen nötig

Die Szenariokosten bis zum Zieljahr für Netto Null aus Sicht der Investor:innen liegen erstaunlicherweise in einer sehr ähnlichen Grössenordnung um die 200 Mia. Franken. Werden die die hier definierte «sozialen Kosten» mitberücksichtigt, resultieren deutliche Unterschiede je nach Bewertung dieser Kosten. Die Gründe für die deutlichen Unterschiede sind nicht ersichtlich.

Zwei jüngere Studien sind erwähnenswert, die nicht in den Axpo Powerswitcher integriert sind:

Exkurs 1: Ergebnisse SWEET-Konsortium

Siehe https://ethz.ch/de/news-und-veranstaltungen/eth-news/news/2024/01/drei-strategien-zur-foerderung-von-oekostrom-in-der-schweiz.html

Vorgehen

Analyse von 4 Zielszenarien: 17, 25, 35 TWh/a erneuerbare Stromproduktion und 25 TWh/a für PV ausschliesslich sowie jeweils 3 Strategien (Technische Diversität, PV und Batterien, Produktivität).

Hauptaussage:

"Mit einem Vergleich von Ergebnissen aus drei Elektrizitätssystemmodellen zeigt der Bericht, dass all diese Ziele ohne Kernenergie oder grosse fossile Kraftwerke in der Schweiz und unter Berücksichtigung von stündlichem Ausgleich von Stromangebot und -nachfrage, Übertragung, Speicherung, Import und Export machbar sind. Das Erreichen des ehrgeizigsten Ziels von 35 TWh/Jahr im Jahr 2035 würde der Schweiz eine nahezu bis vollständig erneuerbare Stromversorgung auf Jahresbasis ermöglichen und den Bedarf an Importen im Winter erheblich reduzieren.»

Exkurs 2:

Siehe https://www.empa.ch/de/web/s604/energiezukunft

Thema

«Mit dem Branchenprojekt «Energiezukunft 2050» zeigt der Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen VSE zusammen mit der Empa anhand von verschiedenen Szenarien, wie die Energieversorgung der Schweiz bis 2050 aussehen könnte.»

Hauptaussagen

«Die Ergebnisse zeigen, dass das Erreichen der Energie- und Klimaziele mitnichten ein Selbstläufer werde, sondern grösste Anstrengungen dafür notwendig sein werden. Weiter wie bisher sei keine Option. Aus Sicht des VSE müsse die Versorgungssicherheit zum nationalen Interesse erklärt und Hürden abgebaut werden, damit Versorgungssicherheit und Klimaneutralität bis 2050 möglich sind. Ein umgebautes Energiesystem ist aufgrund der erhöhten Effizienz günstiger als der Status quo. Der Ersatz des heutigen Imports fossiler Brennstoffe durch Elektrizität führt szenarioabhängig zu Reduktionen der jährlichen Systemkosten um 1 bis 5 Mia. CHF. Trotz erhöhtem Investitionsbedarf können die Systemkosten damit gegenüber heute um 20% reduziert werden.
***Fazit:** Mit einem massiv beschleunigten Zubau von erneuerbaren Energien, einer massiven Steigerung der Effizienz, fokussierten Um- und Ausbau der Netze sowie einem engen Energieaustausch mit Europa kann die Schweiz ihre Energie- und Klimaziele effizient erreichen.»*

Fazit

Die verfügbaren Analysen zeigen insgesamt verschiedene Pfade auf, wie die Energiewende realisiert werden kann. Entscheidende Faktoren sind:

- Die konsequente Nutzung der Energieeffizienzpotenziale mit erster Priorität damit das Nachfragwachstum gedämpft werden kann.
- Der konsequente Ausbau aller zur Verfügung stehenden Technologien erneuerbarer Stromproduktion.
- PV hat dabei eine Schlüsselrolle – insbesondere Anlagen auf Dächer und Infrastrukturen (letzteres wird allerdings in diesen Analysen nicht explizit ausgewiesen).
- Auch PV alpin kann einen relevanten Beitrag zur Reduktion der Winterstromlücke liefern. Die beobachteten Volumina sind allerdings im Schnitt der betrachteten Analysen nicht matchentscheidend.
- Wichtig ist ein gutes Verhältnis zur EU, damit weiterhin ein Wirksamer Stromhandel mit Importen im Winterhalbjahr sichergestellt werden kann.
- Last but not least ist zu erwähne, dass die Kosten der Szenarien volkswirtschaftlich verkraftbar scheinen und sich die verschiedenen Analysen darin echt einig sind.