

Die neue Schweizer Energiepolitik: Woher kommt der Strom?

Die Politik hat die Leitlinien gesetzt: keine neuen Kernkraftwerke mehr in der Schweiz. Das bedeutet, dass 40% der heutigen Stromproduktion in Zukunft aus anderen Quellen stammen sollen. Wir müssen den Verbrauch senken und erneuerbare Energien stärker nutzen, soviel steht fest. Falls das aber nicht reicht? Braucht es Gaskraftwerke? Oder sollen wir uns auf Stromimporte verlassen? Diese und weitere solcher Fragen untersucht das PSI im Rahmen von Energieszenarien.*

Nach Fukushima stand rasch fest, dass die Stromversorgung der Schweiz in 40 Jahren anders aussehen soll als heute. Elektrizität aus neuen Kernkraftwerken soll es nicht mehr geben, dafür wird die Nutzung von Sonne, Wind und Biomasse massiv ausgebaut. Ob wir damit unseren Verbrauch decken können, ist allerdings fraglich, wenn man sich die bisherige Entwicklung des Stromverbrauchs anschaut und die prognostizierte Zunahme der Bevölkerung auf 9 Millionen und das Wachstum der Wirtschaft um die Hälfte bis 2050 in Betracht zieht.

Die Schweiz steht damit vor grossen Herausforderungen: Für einen erfolgreichen Umbau der Stromversorgung müssen die erneuerbaren Energieträger in jedem Fall rasch bis an die Grenze der realistisch nutzbaren Potenziale ausgebaut werden. Und wir müssen Strom effizienter nutzen – die Möglichkeiten dazu sind vorhanden. Schaffen wir es nicht, den Verbrauch erheblich zu senken, wächst unsere Abhängigkeit vom Ausland. Sich auf Stromimporte zu verlassen, ist mit Blick auf die Versorgungssicherheit riskant. Vor allem im Winter, wenn der Verbrauch hoch ist und die Wasserkraftwerke weniger produzieren. Setzt man auf Gaskraftwerke, müsste viel Erdgas importiert werden. Gaskraftwerke produzieren zudem viel CO₂. Die ohnehin anspruchsvollen klimapolitischen Ziele wären damit noch schwieriger zu erreichen.

Auch wenn die zukünftige Entwicklung schwer abzuschätzen ist: Vieles deutet darauf hin, dass der Strom bis 2050 um mindestens die Hälfte mehr kosten wird als heute.

* Vollständige Hintergrundinformationen und weitere Ergebnisse der Szenarien stehen unter «<http://www.psi.ch/info/energie-spiegel>» zum download bereit.

MIT EINLAGEBLATT

Inhalt

- 2 Stromverbrauch:
Was wäre, wenn...?
- 3 Stromversorgung:
Gaskraftwerke oder Stromimporte?
- 4 Interview mit Heinz Karrer:
«Der Strompreis wird in 10 Jahren um 30% höher sein»

Was wäre, wenn...?

«Vorhersagen sind schwierig, insbesondere wenn sie die Zukunft betreffen.» Es ist zwar nicht klar, wem dieses Zitat zugeschrieben werden darf¹. Sicher ist aber, dass man es zumindest im Hinterkopf haben sollte, wann immer der Öffentlichkeit neue Szenarien im Energiebereich präsentiert werden.

Niemand kann heute vorhersagen, wie die Schweizer Energie- und Stromversorgung im Jahr 2050 aussehen wird. Das ist weder mit dem ominösen Blick in die Kristallkugel möglich, noch mit komplizierten Modellen – auch wenn dieser Eindruck gern vermittelt wird mit Vorhersagen von oft bemerkenswerter Präzision. Viel zu gross sind die Unsicherheiten hinter den wichtigsten Einflussgrössen. Bevölkerungsentwicklung und Wirtschaftswachstum, Entwicklung der Technologien und der Preise von Öl und anderen Energieträgern, internationale Rahmenbedingungen: Dies sind nur einige Einflussfaktoren,

Zwischen 2000 und 2010 stieg der Stromverbrauch um 14 %

die über so lange Zeiträume nicht präzise vorhergesagt werden können. Das heisst aber nicht, dass Modellrechnungen nutzlos sind, im Gegenteil: Szenarien zur Energie- und Stromversorgung können sehr gut Fragen im Stil von «Was wäre, wenn...?» beantworten. Sie skizzieren Entwicklungen, die unter ganz bestimmten Annahmen und Rahmenbedingungen erwartet werden, und zeigen auch deren Kosten und Folgen für die CO₂-Bilanz der Schweiz auf.

Wie viel Strom werden wir brauchen?

Die Höhe des Elektrizitätsverbrauchs: Das ist einer der wichtigsten Parameter, wenn Szenarien berechnet werden, wie unsere Stromversorgung in 40 Jahren aussehen könnte. Wie sich der Verbrauch entwickeln wird, hängt von vielen Faktoren ab. Dementsprechend gross ist die Bandbreite der Vorhersagen (Abbildung 1).

¹ Karl Valentin, Mark Twain, Winston Churchill u.a.

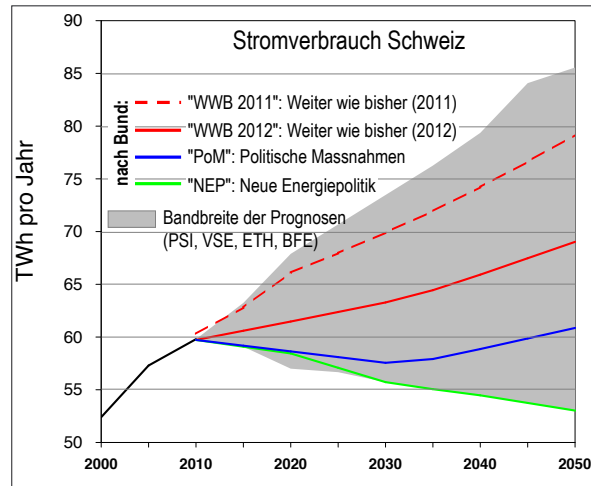


Abbildung 1: Bandbreite in den Annahmen zur Entwicklung des Stromverbrauchs in der Schweiz bis 2050 (Quellen: Energiestrategie 2050 des Bundes; PSI, Labor für Energiesystem-Analysen; VSE; ETH).

Für die Versorgung der Schweiz macht es einen Unterschied, ob 50 oder 85 Terawattstunden pro Jahr verbraucht werden – die Potenziale der verschiedenen Stromquellen sind begrenzt. Vor allem jene der erneuerbaren Energien, bei denen die heimische Produktion nicht beliebig gesteigert werden kann.

Die vom Bund erwartete Entwicklung (Abbildung 1) hängt von den Rahmenbedingungen ab: Ein Verbrauch, der quasi ab sofort abnimmt und 2050 deutlich unter dem heutigen liegt (Neue Energiepolitik, «NEP»), liesse sich nur mit massiven und rasch wirksamen Lenkungs- und Sparmassnahmen um-

deutlich optimistischer sind als vor einem Jahr («WWB 2011»). Zum Vergleich: Zwischen 2000 und 2010 stieg der Stromverbrauch um 14%; 1970 war der Verbrauch pro Kopf nur gut halb so hoch wie heute.

Wie realistisch es ist, dass der Verbrauch nicht weiter steigt, oder dass 2050 gar weniger Strom gebraucht wird als heute, sei dahingestellt. Man geht davon aus, dass dann neun Millionen Menschen in der Schweiz leben, die Wirtschaftsleistung um die Hälfte zugenommen hat und der Verkehr weiter stark wächst, wobei Strom dort vermehrt als Treibstoff dienen soll (Abbildung 2).

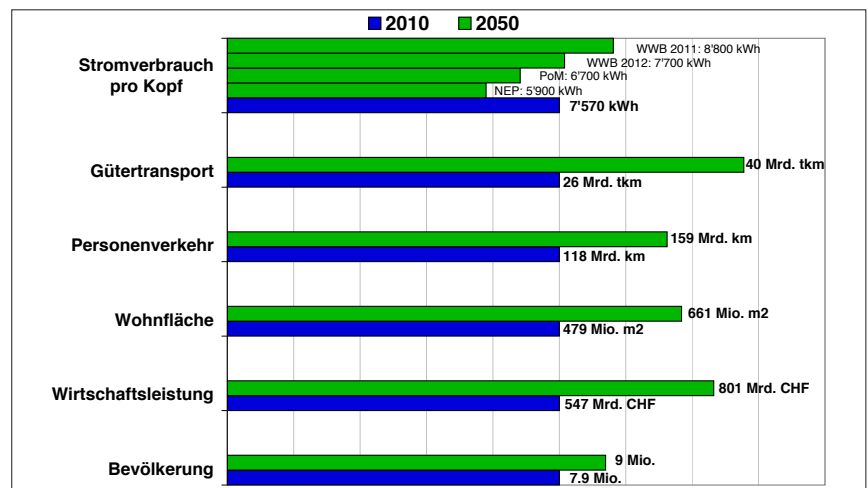


Abbildung 2: So entwickeln sich verschiedene Kenngrössen in der Schweiz bis 2050 nach Prognosen des Bundes.

Gaskraftwerke oder Stromimporte?

Die heimischen Erneuerbaren reichen nur, wenn wir dank neuer Energiepolitik mit viel weniger Strom als heute auskommen – trotz zunehmender Bevölkerung und wachsender Wirtschaft. Sonst aber braucht es einen Plan B.

Das PSI hat verschiedene Szenarien für die drei aktuellen Verbrauchsprognosen in Abbildung 1 durchgerechnet. Wie könnte der Elektrizitätsbedarf am wirtschaftlichsten gedeckt werden und welche Folgen ergeben sich daraus punkto Kosten und CO₂-Emissionen? Dazu wurde ein Modell verwendet, mit dem die kostengünstigste Art der Stromversorgung ermittelt wird, und das über die nächsten 40 Jahre (siehe Kasten im Einlageblatt). Das Fazit daraus: Egal, wie hoch der Bedarf in 40 Jahren sein wird – die Stromversorgung der Schweiz wird eine Herausforderung darstellen, wenn an einem klimapolitischen Ziel von zumindest minus 60 % CO₂ bis 2050 festgehalten wird und keine neuen Kernkraftwerke gebaut werden.

Rahmenbedingungen

Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse der Modellrechnung, wenn der Stromverbrauch in etwa auf heutigem Niveau gehalten werden kann («PoM»-Entwicklung in Abbildung 1). Drei Szenarien wurden durchgerechnet: Im ersten («Gas») müssen die Stromimporte und -exporte während eines Jahres ausgeglichen sein, während im zweiten («Import») Nettoimporte möglich sind, aber keine Gaskraftwerke. Bei beiden sind neue Kernkraftwerke keine Option. Das dritte Szenario entspricht einem Referenzfall mit Rahmenbedingungen, wie sie vor Fukushima gegeben waren («REF»). Hier sind neue Kernkraftwerke möglich, die Stromimporte und -exporte müssen ausgeglichen sein.

Erneuerbare am Limit

Das Szenario «Gas» zeigt: Eine Kombination aus flexiblen Gaskraftwerken, Fotovoltaik und Windenergie ist die günstigste Lösung, wenn sich Stromimporte und -exporte übers Jahr ausgleichen müssen. Im Jahr 2050 würden dann sieben grosse Gaskraftwerke benötigt.

Im Szenario «Import» ohne Gaskraftwerke kann mehr Strom importiert werden, maximal knapp ein Fünftel des Jahresverbrauchs. Dann werden die Potenziale aller neuen Erneuerbaren – Fotovoltaik, Wind, Holz und Geothermie – voll ausgeschöpft. Das reicht aber nicht: Vor allem im Winter muss viel Strom

importiert werden (siehe Einlage, Abbildung 7).

Weil Strom aus Kernkraftwerken am wenigsten kostet, verdrängen im dritten Szenario («REF») Kernkraftwerke zusammen mit Pumpspeicherkraftwerken die Gaskraftwerke und die Erneuerbaren.

Und wenn sich der Stromverbrauch anders entwickelt? Abbildung 4 zeigt die drei Szenarien mit den gleichen Vorgaben wie zuvor für das Jahr 2050. Und das jeweils für die drei Entwicklungen des Verbrauchs in Abbildung 1.

Wenn das Verbrauchsziel der neuen Energiepolitik erreicht wird («NEP»),

dann kann die Schweiz ohne Gaskraftwerke und Nettostromimporte auskommen. Eine volle Nutzung der Erneuerbaren würde im Jahreschnitt reichen. Im Winter müsste aber nach wie vor Strom importiert werden.

Ist der Verbrauch höher als heute (WWB 2011 und 2012), dann braucht es entweder mehr Gaskraftwerke oder höhere Importe. Käme gleich viel Strom wie heute aus Kernkraftwerken, wären zusätzlich Gaskraftwerke und Strom aus Fotovoltaik und Windenergie nötig.

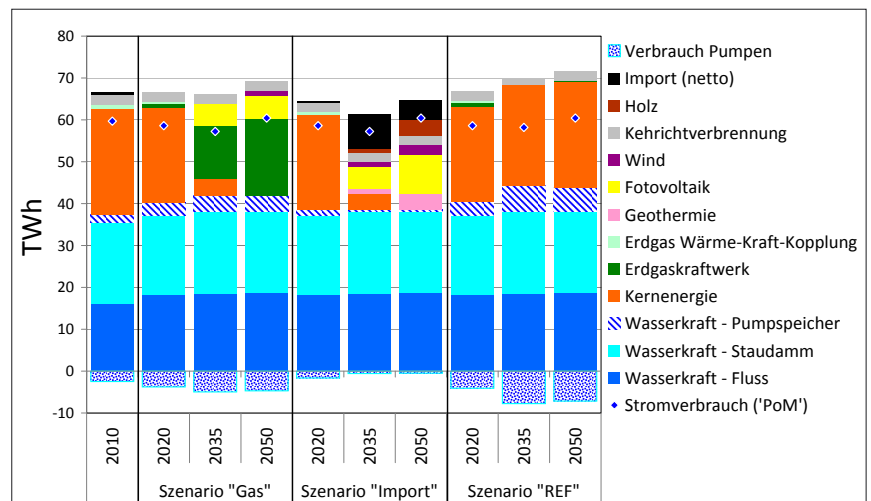


Abbildung 3: Schweizer Stromversorgung in drei Szenarien bis 2050 mit verschiedenen Rahmenbedingungen. Stromverbrauch nach «PoM»-Entwicklung.

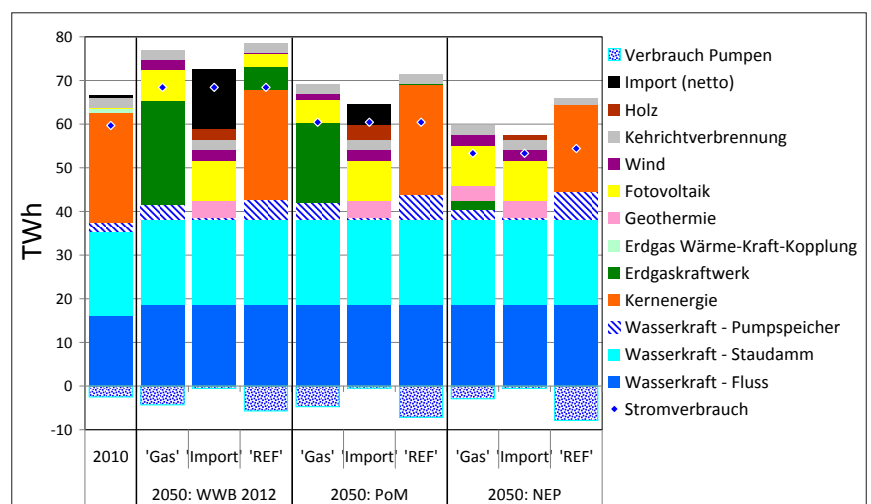


Abbildung 4: Szenarien zur Schweizer Stromversorgung im Jahr 2050 bei unterschiedlichem Stromverbrauch (entspricht der Bruttoproduktion abzüglich des Verbrauchs der Pumpen).

«Der Strompreis wird in 10 Jahren um 30% höher sein»

Wie wird sich aus Ihrer Sicht der Stromverbrauch in den nächsten Jahrzehnten entwickeln?

Aufgrund des Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstums sowie neuer Stromanwendungen wie Wärmepumpen, Haushaltsgeräte, Elektromobilität usw. wird der Stromverbrauch weiterhin steigen. Axpo rechnet bis 2040 mit einem Anstieg des Stromverbrauchs von gegen 1 Prozent pro Jahr. Wobei der Anstieg zunächst deutlich sein und sich dann langfristig abschwächen dürfte.

Der Stromverbrauch wird weiter zunehmen

Wie schätzen Sie die Energiestrategie des Bundes ein, vor allem bezüglich Entwicklung des Stromverbrauchs und der Potenziale der Erneuerbaren Energien?

Grundsätzlich unterstützt Axpo die Energiestrategie des Bundesrates, die nebst dem langfristigen Atomausstieg auch die verstärkte Förderung von neuen erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz vorsieht. So hat Axpo, die schon heute grösste Schweizer Produzentin von Strom aus neuer erneuerbarer Energie ist, ihr Produktionsziel bei den neuen erneuerbaren Produktionsquellen bis zum Jahr 2030 mehr als verdoppelt. Aufgrund der beschränkten Potenziale bzw. der zu erwartenden Widerstände gegenüber konkreten Projekten werden wir diesen Zuwachs grösstenteils im Ausland realisieren. Beim Stromverbrauch geht der Bundesrat von einer Reduktion ab dem Jahre 2020 aus. Das ist aus unserer Sicht nicht realistisch.

Wo sehen Sie Risiken in dieser neuen Energiestrategie und welche Rahmenbedingungen muss der Bund schaffen für eine erfolgreiche Umsetzung?

Nach wie vor hängen viele Annahmen von Entwicklungen ab, die aus heutiger Sicht schwer abzuschätzen sind. Darum sollte man sich keine Option verbauen, auf die man morgen allenfalls zurückkommen muss. Axpo wird sich weiterhin aktiv in die Gestaltung der Energiezukunft der Schweiz einbringen. Wir legen auch Wert darauf und fordern, dass das Volk obligatorisch in die energiepolitischen Weichenstellungen eingebunden wird. Weitreichende Massnahmen mit entsprechenden volkswirtschaftlichen Konsequenzen sollten unbedingt den Weg über eine Volksabstimmung nehmen müssen.

Wie stellt die Axpo sicher, dass sie in 25 Jahren und darüber hinaus ihren Versorgungsauftrag erfüllen kann? Spielen Stromimporte eine Rolle?

Der Auftrag der Axpo ist es weiterhin, eine sichere und nachhaltige Stromversorgung in ihrem Versorgungsgebiet zu gewährleisten. Im Januar 2012 haben wir mit der Umsetzung unserer neuen Strategie begonnen. Mit dieser wollen wir flexibel auf die nicht absehbaren Entwicklungen reagieren können, vor allem mittels eines noch breiter abgestützten Produktions- und Beschaffungsportfolios. Stromimporte werden künftig eine zunehmend wichtigere Rolle spielen.

Unter welchen Voraussetzungen würde die Axpo in Gas-Kombikraftwerke investieren?

Mit der heutigen CO₂-Gesetzgebung ist ein wirtschaftlicher Betrieb eines Gas-Kombikraftwerks in der Schweiz kaum möglich. Die Anlagen stossen beachtliche Mengen CO₂ aus, die zu 100 % in der Schweiz kompensiert werden müssen. Falls die gesetzlichen und ökonomischen Rahmenbedingungen dereinst stimmen, könnten Gas-Kombikraftwerke eine Option sein. Hauptvoraussetzung dafür wäre die Anbindung der Schweiz an das Emissionshandelssystem der EU.

Mit welchen Strompreisen müssen die Kunden in 25 Jahren rechnen?

Klar ist, dass Stromimporte gemäss der Energiestrategie 2050 des Bundesrates eine grössere Rolle spielen werden. Hinzu kommen höhere Netzentgelte auf-



Heinz Karrer ist seit 2002 Chief Executive Officer (CEO) der Axpo Holding AG. Bis September 2007 war er gleichzeitig CEO der Axpo AG (damals NOK). Zuvor war Karrer in der Konzernleitung der Swisscom AG, als Leiter von Ringier Schweiz und Mitglied der Ringier AG Konzernleitung sowie Geschäftsleiter und Verwaltungsratsdelegierter der Intersport Holding AG tätig.

grund des grossen Investitionsbedarfes. Und wir müssen auch davon ausgehen, dass die Abgaben wie bspw. für die neuen erneuerbaren Energien höher sein werden. So müssen wir heute davon ausgehen, dass der Strompreis alleine in den nächsten 10 Jahren in der Grössenordnung von 30 % steigen wird.

Politisches Ziel ist eine Reduktion des Stromverbrauchs. Sieht sich die Axpo in der Verantwortung, zur Erreichung dieses Ziels einen Teil beizutragen? Werden diesbezügliche Geschäftsmodelle entwickelt?

Axpo bleibt weiterhin dem Ziel einer sicheren, nachhaltigen und wettbewerbsfähigen Versorgung verpflichtet. Die Ansprüche von Wirtschaft und Gesellschaft müssen berücksichtigt werden. Axpo wird sich künftig noch stärker für Energieeffizienz einsetzen, sowohl bei eigenen Anlagen wie auch im Kundenbereich.

Impressum

Energie-Spiegel ist der Newsletter des PSI zur ganzheitlichen Betrachtung von Energiesystemen (Projekt GaBE). Beiträge zu dieser Ausgabe stammen von Kannan Ramachandran, Hal Turton und Stefan Hirschberg

ISSN-Nr.: 1661-5093

Auflage: 15 000 Ex. Deutsch, 4000 Ex. Französisch, 800 Ex. Englisch
Bisherige Ausgaben als Pdf (D, F, E):
<http://gabe.web.psi.ch/>

Verantwortlich für den Inhalt:

Paul Scherrer Institut
Dr. Stefan Hirschberg
5232 Villigen PSI, Schweiz
Tel. +41 56 310 29 56
stefan.hirschberg@psi.ch
<http://gabe.web.psi.ch/>

Redaktion: Christian Bauer

Verteilung und Subskription:
energiespiegel@psi.ch

Layout: Paul Scherrer Institut

Energiesystem-Analysen am PSI: Ziel der Energiesystem-Analysen am Paul Scherrer Institut, Villigen, ist eine umfassende und detaillierte Beurteilung heutiger und zukünftiger Energiesysteme. Betrachtet werden neben Technologien insbesondere ökologische, ökonomische und gesellschaftliche Kriterien. Auf der Basis von Life Cycle Assessment (LCA), energiewirtschaftlichen Modellen, Risikoanalysen, Schadstoff-Ausbreitungsmodellen und Multikriterien-Analysen ist es möglich, unterschiedliche Energieszenarien zu vergleichen, um Grundlagen für politische Entscheidungen zu schaffen.

Zusammenarbeiten mit:

ETH Zürich; EPF Lausanne; EMPA; Bundesamt für Energie (BFE); swisselectric research; World Energy Council (WEC); Massachusetts Institute of Technology (MIT); Europäische Union (EU); International Energy Agency (IEA); Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD)

CO₂-Emissionen, Kosten, Versorgungssicherheit

Ohne neue Kernkraftwerke fällt das nukleare Störfallrisiko in der Schweiz weg. Gratis ist die neue Energiepolitik aber nicht zu haben. Sie wird sich in unserem Haushaltsbudget und in der CO₂-Bilanz bemerkbar machen. Strom- oder Gasimporte könnten für eine weniger stabile Stromversorgung sorgen.

Wenn wir nicht mit viel weniger Strom auskommen als heute, brauchen wir bei einem Verzicht auf Kernkraftwerke Erdgas oder Strom aus dem Ausland. Beides ist für eine gesicherte Stromversorgung riskanter als der Import von Brennelementen für die Kernkraftwerke. Deutschland etwa wird in Zukunft auch auf Stromimporte setzen. Als Strategie für ganz Europa funktioniert dies aber nicht. Und Länder wie Russland oder der Iran könnten sich als unzuverlässige Gaslieferanten herausstellen.

Folgen für die Klimapolitik

Bei etwa gleichbleibendem Stromverbrauch (Entwicklung «PoM» in Abbildung 1) im Jahr



2050 voll auf Gaskraftwerke zu setzen heisst: sieben neue Gaskraftwerke, für die dann genauso viel Erdgas importiert werden muss, wie heute für Heizungen und Industrie. Und rund sechs Millionen Tonnen CO₂ mehr pro Jahr (Abbildung 5, Szenario «Gas» in der Mitte). Das sind im Vergleich zu den heutigen Emissionen der Schweiz von rund 40 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr 15% mehr. Auf dem Weg zum Ziel von minus 60% CO₂ bis 2050 stellen diese CO₂-Emissionen der Gaskraftwerke eine zusätzliche Hürde dar. Das Kompensieren im Inland wäre teuer. Eine Lösung könnte das so genannte «Carbon Capture and Storage» sein: Man fängt dabei das CO₂ aus Kraftwerken ab und speichert es dauerhaft im Boden (siehe Kasten). Ob sich das in der Schweiz machen lässt, ist aber noch unklar.

Bei einer Importstrategie (Szenario «Import») hängen die CO₂-Emissionen von der Zusammensetzung des importierten Stroms ab. Die dargestellte Bandbreite bei einem Verbrauch nach «PoM»-Entwicklung reicht von Null bis gut 2 Millionen Tonnen pro Jahr. Die Bandbreite entspricht «CO₂-freiem» Strom

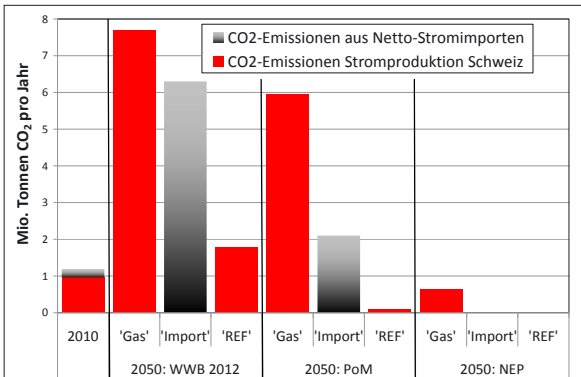


Abbildung 5: Direkte Treibhausgasemissionen aus der Schweizer Stromversorgung pro Jahr, abhängig von der Entwicklung des Stromverbrauchs (vgl. Abbildung 1).

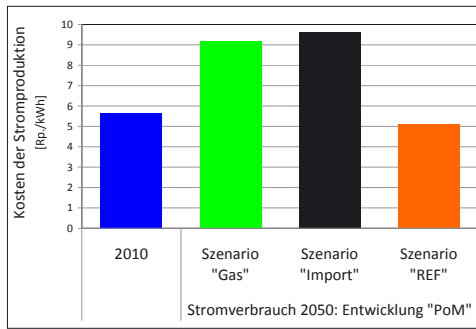


Abbildung 6: So viel kostet in den drei Szenarien die Herstellung einer Kilowattstunde Strom im Durchschnitt im Jahr 2050. Die Gewinne aus dem Stromhandel sind hier eingerechnet.

Wirtschaftliche Folgen

Auch wenn es schwierig ist vorauszusagen, wie viel die Produktion einer Kilowattstunde Elektrizität in 40 Jahren kosten wird: Es wird erheblich mehr sein als heute (siehe Abbildung 6). Im Erdgas- und Importszenario sind die durchschnittlichen Produktionskosten fast doppelt so hoch wie heute. Die Unsicherheiten hinter den angenommenen Kosten von Erdgas- und Stromimporten sowie Kernkraftwerken und neuen Erneuerbaren bis 2050 sind gross. Und diese Kosten haben entscheidenden Einfluss auf die Ergebnisse der Szenarien. Mit den aktuellen Annahmen (siehe Tabelle auf der Rückseite) entstehen bei Verzicht auf Ersatz-KKW bis 2050 Zusatzkosten von rund 60 Mrd. Franken alleine für die Stromversorgung, wenn sich der Verbrauch wie in der «PoM-Prognose» entwickelt. Nicht eingerechnet sind Kosten, die beim Ausbau der Stromleitungen anfallen könnten.

Die Kosten für die Stromversorgung an sich wären geringer, wenn der Elektrizitätsverbrauch sinken würde, wie in der «NEP»-Entwicklung angenommen. Dann wären aber höhere Investitionen in Stromsparmassnahmen in Haushalten, Industrie und Verkehr nötig. Diesem Thema «Gesamtenergieversorgung bis 2050» wird sich eine der nächsten Ausgaben des Energie-Spiegels widmen.

«Carbon Capture and Storage» bezeichnet Technologien, mit denen CO₂-Emissionen aus Kraftwerken oder der Zementherstellung abgechieden werden. Das CO₂ wird komprimiert und in geeignete geologische Strukturen in mindestens 1000 Metern Tiefe gepresst. Dort bleibt das CO₂ gespeichert und trägt nicht zum Klimawandel bei. Eine mögliche Umsetzung in der Schweiz wird im Forschungsprojekt CARMA unter Beteiligung des PSI untersucht: <http://www.carma.ethz.ch/>

Sommer – Winter, Tag und Nacht

Im Jahresschnitt genug Strom zu haben, ist das Eine. Ist aber auch genug davon da, wenn im Winter alle Heizungen laufen und sich die Sonne hinter den Wolken versteckt? Ob Winter oder Sommer, mitten in der Nacht oder am Feierabend: Stromproduktion und -verbrauch schwanken stark.

Damit Szenarien für die künftige Stromversorgung ein realistisches Bild vermitteln können, müssen sie zeitliche Schwankungen bei Produktion und Verbrauch berücksichtigen. Fotovoltaikanlagen liefern beispielsweise nur am Tag Strom und mehr davon im Sommer als im Winter. Der Verbrauch ist aber im Winter um einiges höher. Und genauso wie Produktion und Verbrauch schwanken, ändern sich auch die Preise für Import und Export der Elektrizität mit der Tages- und Jahreszeit. Das Modell des PSI berücksichtigt all diese Umstände (siehe Kasten und Tabelle).

Viel Wasser und Sonne im Sommer, wenig im Winter

Stromerzeugung und -verbrauch im Verlauf typischer Wochentage im Sommer und Winter sind in Abbildung 7 dargestellt. Und zwar für die Szenarien «Gas» und «Import» im Jahr 2050.

Im Sommer wird in beiden Szenarien am Abend und in der Nacht billiger Strom importiert (schwarze Flächen). Gut zu sehen ist auch der Tagesgang der Fotovoltaik (gelb) mit dem viel höheren Ertrag im Sommer. Die Speicherkraftwerke (hellblau) produzieren

Potenziale und Kosten der Stromerzeugung für 2050 im TIMES-Modell für die Schweiz

	Stromerzeugungskosten [Rp./kWh]	Potenziale zur Stromerzeugung, angenommen als realisierbar bis 2050 [TWh/a]
Erdgas-Kombi-Kraftwerk	15.4	flexibel
Kernkraft	5.9	Null in den Szenarien «Gas» und «Import» ~25 im Szenario «REF»
Wasserkraft	14 (neue Kraftwerke)	38.3
Fotovoltaik	10.3	9.7
Wind	14.5	2.6
Geothermie	16.5	4.4
Holz	8.9	3.8
Stromimporte	Ø 16.4 8.5–22.7 je nach Tageszeit	Max. 17 % des Verbrauchs im «Import»-Szenario
Erdgas (Brennstoffkosten)	6.7 Rp. pro kWh Erdgas	

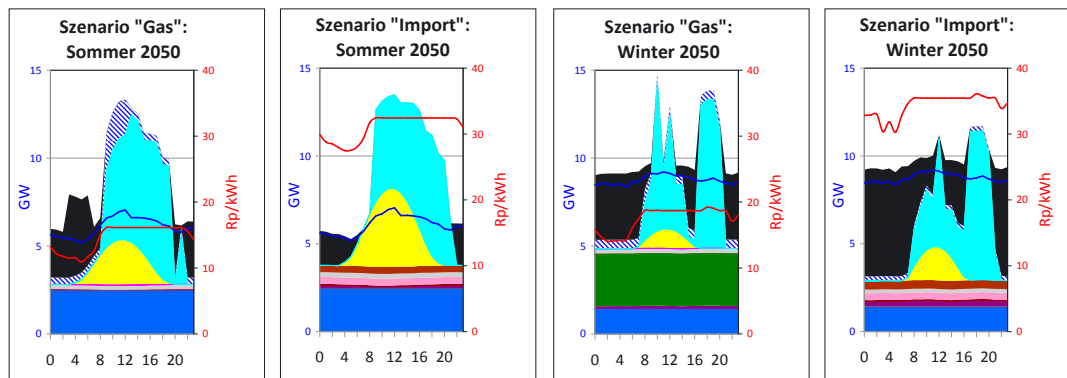


Abbildung 7: Tagesgang von Stromerzeugung und -verbrauch aus den Szenarien «Gas» und «Import» für 2050 (links: Sommer; rechts: Winter). Die blaue Linie steht für den Verbrauch, die rote für die Produktionskosten einer zusätzlichen Kilowattstunde. Die verschiedenfarbigen Flächen zeigen den Verlauf der Stromproduktion der einzelnen Technologien und der Importe. Die Produktion muss um 7% höher sein als der Verbrauch, um Verluste im Stromnetz zu decken. Ist die Produktion um mehr als diese 7% über der blauen Linie, wird der Strom exportiert. Farbgebung der Technologien wie in Abbildungen 3 und 4.

bei hoher Nachfrage und wenn der Strom teuer ist. Im Sommer kann das meiste davon exportiert werden und bringt finanzielle Gewinne.

Im Winter braucht es wegen des kleineren Ertrags von Fotovoltaik und Wasserkraft auch tagsüber Importe. Im Importszenario ohne Gaskraftwerke sind diese deutlich höher: Bis zu zwei Drittel des Verbrauchs müssen über viele Stunden hinweg eingeführt werden, da weniger Grundlastkapazitäten in der Schweiz vorhanden sind.

Speicherkraftwerke könnten auch zum Ausgleich der fehlenden Produktion der Fotovoltaikanlagen nachts und bei Schlechtwetter oder der Windturbinen bei Flaute genutzt werden. Damit würden aber die Gewinne aus dem Stromexport wegfallen.

Das «TIMES-Modell Schweiz» wird am PSI zur Berechnung von Szenarien zur Schweizer Stromversorgung verwendet. Damit wird das billigste System zur Stromversorgung unter vorgegebenen Rahmenbedingungen bestimmt. Zur Optimierung des Gesamtsystems werden die Eigenschaften der Technologien berücksichtigt, z.B. Kosten, Verfügbarkeit und Flexibilität. Die Zeitauflösung beträgt eine Stunde – damit können tageszeitliche Schwankungen von Verbrauch und Produktion gut abgebildet werden. Es wird zwischen den vier Jahreszeiten sowie Wochentag, Samstag und Sonntag unterschieden. Strom kann jederzeit importiert und exportiert werden.