Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 103 (2012)
Heft: (12)

Artikel: Das Systemdesign der künftigen Schweizer Stromversorgung
Autor: Vossebein, André / Poncet, Andreas
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-857393

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Das Systemdesign der künftigen Schweizer Stromversorgung

Das Zusammenspiel von Produktion, Netzen, Verbrauch und internationalem Austausch

Für eine funktionierende Elektrizitätsversorgung müssen die einzelnen Elemente der Stromlieferkette zusammenpassen. Wie ein solches Gesamtsystem hierzulande in Zukunft aussehen könnte, wird nachfolgend diskutiert.

André Vossebein, Andreas Poncet

Zentral für die Stromversorgung von morgen ist die Frage, wie Angebot und Nachfrage in den Netzen jederzeit ausgeglichen werden können. Im Fokus steht damit das elektrizitätswirtschaftliche System als Gesamtheit aus Erzeugung, Transport, Verteilung und Verbrauch von Elektrizität.

Diesem Thema hat sich die VSE-Studie «Wege in die neue Stromzukunft» vertieft angenommen. [1] Dabei behandelte sie zwei Fragenkomplexe:

- Wie beeinflusst eine zunehmend intermittierende Stromproduktion aus Wind und Sonne die Netze und das Funktionieren des Systems? Entstehen in den Netzen Probleme, die einen Aus- und Umbau oder eine andere Betriebsweise nötig machen?
- Wie spielen Angebot und Nachfrage zeitlich zusammen? Hierbei sind Flexibilität von Produktion und Verbrauch sowie die Höhe der Strompreise zu berücksichtigen. Die Analyse ist zudem nicht auf Jahres- oder Halbjahresbilanzen zu reduzieren, sondern feiner aufzulösen: Zur Gewährleistung der Systemstabilität müssen Schwankungen zwischen Erzeugung und Verbrauch jederzeit ausgeglichen werden – unabhängig, ob sie saisonal, im Wochen- oder Tageszyklus oder während Stunden, Minuten oder Sekunden auftreten.

Beim Ausgleich von Produktion und Verbrauch steht die Schweiz nicht isoliert dar, sondern ist in den europäischen Verbund eingegliedert. Das Zusammenspiel der nationalen, elektrischen Systeme wurde in der VSE-Studie daher in den Mittelpunkt gerückt. Damit leisten die «Wege in die neue Stromzukunft» zum Teil Pionierarbeit.

Die Studie arbeitete mit drei Szenarien, die alle davon ausgehen, dass die Schweizer Kernkraftwerke am Ende ihrer Laufzeit nicht durch neue ersetzt werden. Zentrale Bedingung war zudem, dass die zuverlässige Versorgung der Schweiz mit Elektrizität gewährleistet ist.

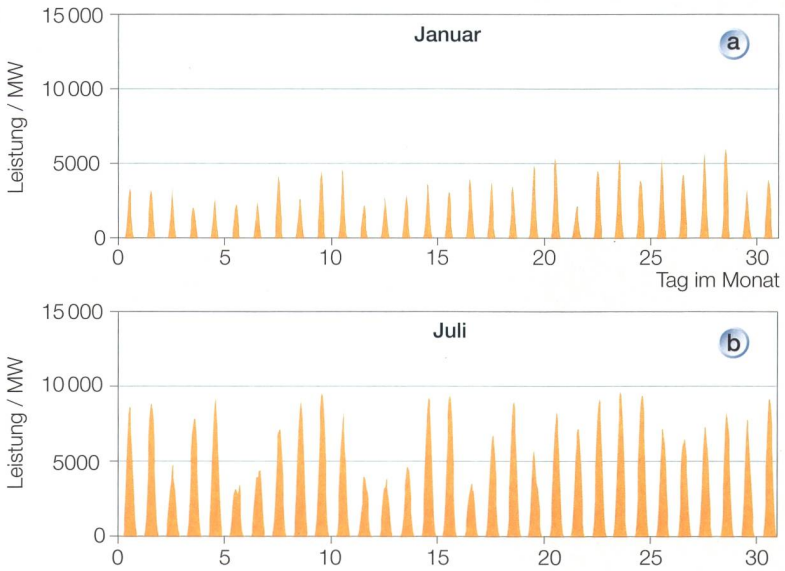
Verteilnetze berücksichtigen

Wird die Wirkung von wachsender Einspeisung aus neuen erneuerbaren Energien auf die Netze diskutiert, stehen meist die Transportnetze im Fokus. Der massive Ausbau von Onshore- und Offshore-Windkraft in der Nordsee etwa verursacht in Nachbarländern der Schweiz einen massiven Netzausbaubedarf, verbunden mit verschiedenen Schwierigkeiten. Die Schweizer Übertragungsnetze haben ebenfalls einen hohen Ausbaubedarf, und zwar bereits heute, wie die Planung für das «Strategische Netz 2020» zeigt.

Gemäss der VSE-Studie dürfen aber die Verteilnetze nicht unberücksichtigt bleiben. Signifikante Beiträge von neuen Energien können in der Schweiz nur mit einem hohen Anteil an dezentraler Produktion Realität werden. Grosse, zentrale Wind- und Sonnenkraftwerke sind unter anderem aus raumplanerischen Gründen nur vereinzelt möglich. Demgegenüber besteht insbesondere für die dezentrale Fotovoltaik (vornehmlich Dachanlagen) ein hohes Potenzial.

Je nach Szenario könnten 4, 8 oder 14 TWh Strom aus Fotovoltaik erzeugt werden, jeweils bei maximal 1000 Vollbetriebsstunden. Damit kann diese Technologie besonders tagsüber und in der hellen Jahreszeit einen Produktionsbeitrag leisten. Bild 1 zeigt, wie sich gemäss Szenario 3 die Stromproduktion aus Sonnenlicht in der Schweiz in einem typischen Winter- und Sommermonat des Jahres 2050 verhält.

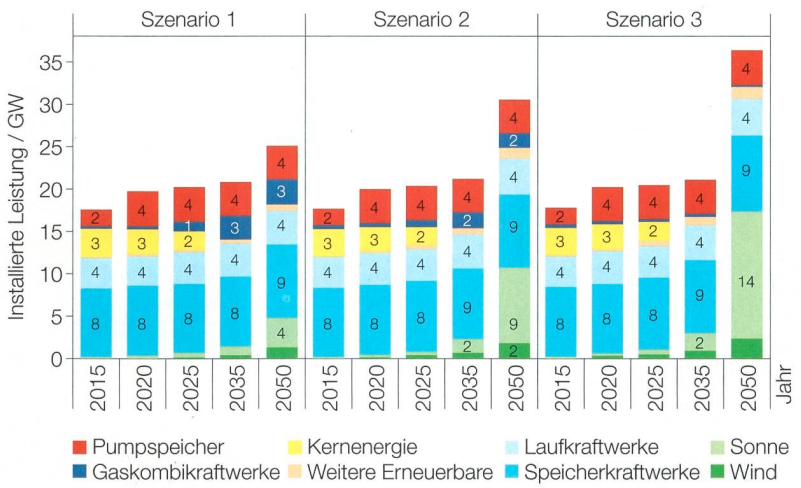
Die Fotovoltaikproduktion schwankt nicht nur abhängig vom Wetter und der Tageszeit, sondern auch saisonal. Doch selbst im Winter wird an sonnigen Tagen



Quelle Pöyry, Darstellung VSE

Bild 1 Schweizer Stromproduktion aus Fotovoltaik im Jahr 2050 in einem Winter- (a) und einem Sommermonat (b).

Szenario 3 mit 100% inländischer Stromproduktion aus erneuerbaren Energien. Annahme: 15 GW installierte Kapazität.



Pöyry

Bild 2 Installierte Erzeugungskapazität in den einzelnen Szenarien im Zeitverlauf.

– ein starker Ausbau der Erzeugungskapazität vorausgesetzt – eine hohe Leistung eingespeist. Dies allerdings während weniger Stunden pro Tag als im Sommer.

Für die tägliche Produktionsplanung gilt: Je länger der Horizont, desto schlechter lässt sich die Erzeugung aus Sonne und Wind prognostizieren. Noch kritischer ist der intermittierende, das heisst der nicht steuerbare und zugleich fluktuierende Charakter der Produktion. Der Grund ist, dass in den elektrischen Systemen Angebot und Nachfrage stets ausgeglichen sein müssen – selbst wenn etwa die Erzeugung aus Sonne im Tagesverlauf stark schwankt.

Die allgemein sehr gut ausgebauten und versorgungssicheren Schweizer Verteilnetze müssen diese Strommengen aufnehmen. Um die Güte der Netze beizubehalten, sind zunächst Erneuerungs- und Ersatzinvestitionen nötig.

Eine Untersuchung realer Verteilnetze mit unterschiedlichen Strukturen ermittelte realitätsnah die Herausforderungen für die unterschiedlichen Verteilnetze der Schweiz. [2] Diese Untersuchung modellierte reale, exemplarische Netzausschnitte der Ebenen 4 bis 7 und ermittelte durch Lastflussberechnungen Strom- und Spannungsprofile. Daraus liessen sich maximal mögliche Einspeiseleistungen neuer Energien ableiten.

Gestützt auf die Untersuchung liess sich zudem «bottom-up» der Ausbaubedarf der Schweizer Verteilnetze ermitteln. Hierzu wurden die Erkenntnisse aus der Untersuchung auf die gesamtschweizerische Situation hochgerechnet. Demnach können rund 5000 MW elektrischer Leistung dezentral an die Verteilnetze angeschlossen werden, sofern der Ausbau über die verschiedenen Verteilnetze verteilt wird und nicht in einzelnen Netzen geballt ist.

In den Berechnungen der VSE-Studie zu Szenario 1 und 2 verfügte rund jeder vierte Leitungsabgang über eine Einspeisung. Bei dieser gleichmässigen Verteilung kann der Ausbaubedarf der Verteilnetze klein gehalten werden, und zum Beispiel Spannungsgrenzen werden seltener erreicht oder überschritten. Allerdings braucht es bei bestimmten Netzen Massnahmen, um die Einspeiser zu integrieren. Fallweise kann also hoher Investitionsbedarf bestehen. Je nach Szenario müssen 20 000 km, 55 000 oder 85 000 km Netze angepasst werden. Technologien wie regelbare Ortsnetzstationen sind Ansätze, den Bedarf nach Netzverstärkungen dabei zu begrenzen.

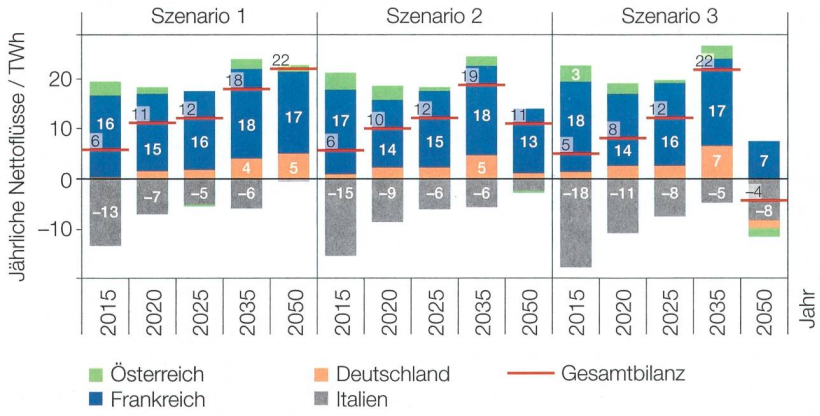
Fallweise können somit signifikante Investitionen nötig werden. Betrachtet man aber die gesamte Schweiz, sind deutliche Investitionen erst mit einem massiven Ausbau insbesondere der Fotovoltaik nötig. Der Ausbaubedarf kann sich dann zwischen ländlichen und städtischen Netzen unterscheiden.

Neuer Kraftwerkspark

Neben dem Umbau der Netze ist die Frage wichtig, wie Strom künftig im Inland erzeugt und mit dem Ausland ausgetauscht wird. Aus diesem Grund wurde in einem sogenannten «Fundamentalmodell» für verschiedene Jahre (2050 als letztes Jahr) in Stundenauflösung berechnet, wie die benötigte Strommenge beschafft wird. [3] Dieses Fundamentalmodell stützte sich auf Inputparameter wie Nachfrage, Brennstoffpreise, Wetter oder Kraftwerkspark und ermittelte mittels eines Optimierungsalgorithmus, wie die Nachfrage nach Strom zu geringsten Systemkosten gedeckt werden kann. Damit wurde versucht, die Effekte des Wettbewerbs nachzubilden.

Entsprechend den Szenarien wurde die vorgegebene, jährliche Nachfrage stündlich aufgelöst im Modell abgebildet. Mit dem Ziel, die Betriebs- und Investitionskosten des Kraftwerksparks zu minimieren, wurden daraufhin Neubau und Betrieb der Kraftwerke in der Schweiz sowie die entsprechenden Entwicklungen im Ausland abgebildet. Damit stehen, unter Rücksicht auf die an den Grenzen von Regelzonen vorhandenen freien Kapazitäten, die Stromproduktion in der Schweiz und der Strombezug aus dem Ausland im Wettbewerb. Dieses gilt umgekehrt für die Stromproduktion im Ausland und Stromlieferungen aus der Schweiz.

Die Schweiz wurde also nicht isoliert betrachtet, sondern eingebunden in ein europäisches Umfeld, in welchem sich eine kongruente Entwicklung abspielt. Dabei wurden die Systeme für verschie-



Pöyry

Bild 3 Importe und Exporte sowie Nettoflüsse.

Die rote Linie entspricht dem Gesamtwert gegenüber dem gesamten Ausland.

Quelle Pöyry, Darstellung VSE

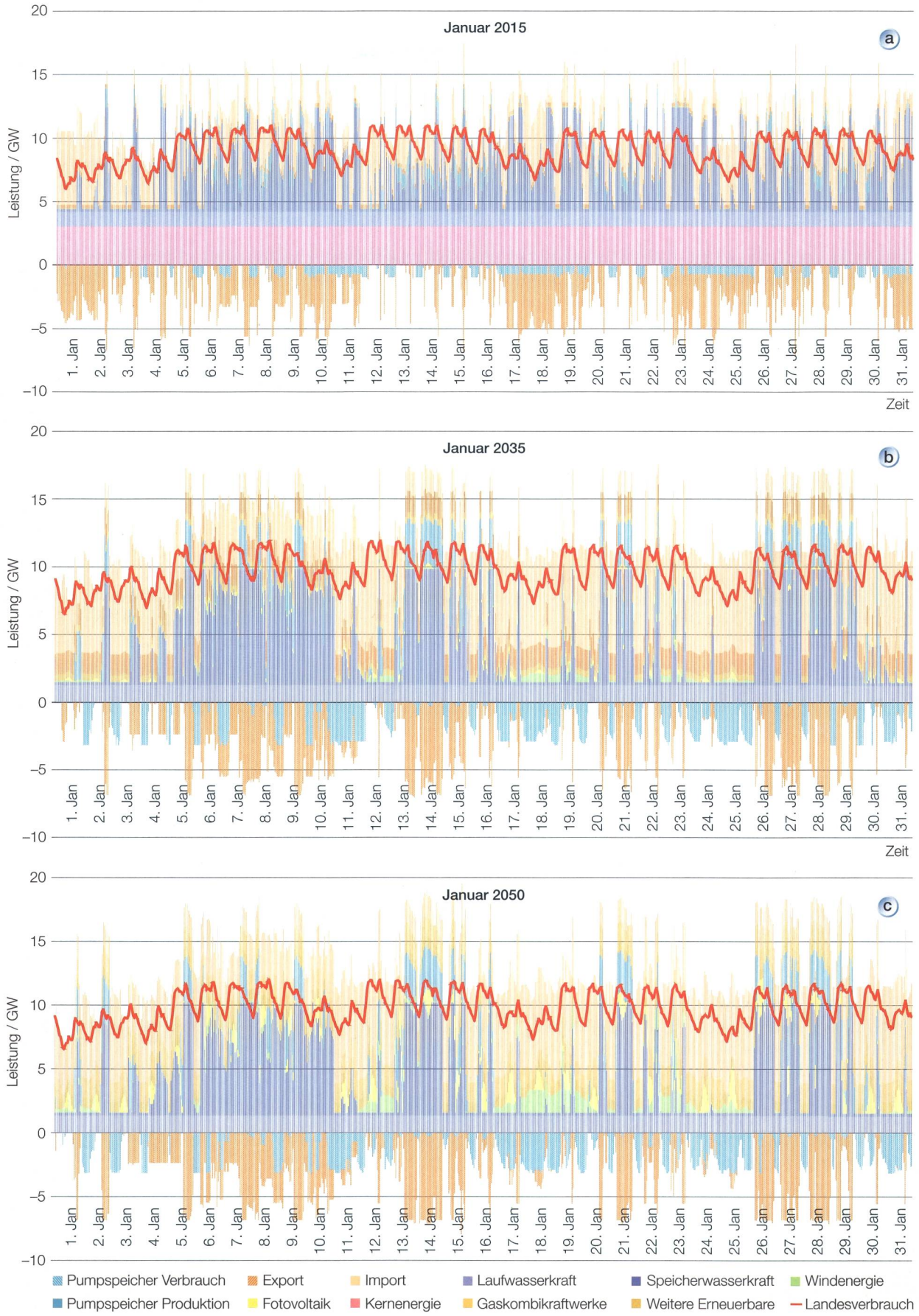


Bild 4 Entwicklung von Produktion, Import und Export in Szenario 2.

Mit Umweltdaten von Januar 2009.

dene Wettersituationen betrachtet. So ist es möglich, elektrische Systeme und ihre Funktionsweisen zu modellieren, welche einen hohen Grad an Versorgungssicherheit unter unterschiedlichen Wetterszenarien, etwa verschiedenen Anteilen an Windstromproduktion in Europa, aufweisen. Auch wurden kraftwerkstechnologische Beschränkungen berücksichtigt, etwa der Zeitpunkt der Inbetriebnahme thermischer Kraftwerke.

Der Neubau der Stromerzeugung ist zu einem Teil exogen vorgegeben worden. Hier wurden in der Studie «Wege in die neue Stromzukunft» insbesondere Analysen zum Ausbau der neuen Energien durchgeführt. Ein weiterer Anteil von Erzeugungskapazität in der Schweiz wurde endogen, abhängig von operationellen Kosten und Kapitalkosten der Technologien, errechnet. Das bedeutet: Sobald eine Technologie bestimmte Renditeanforderungen überschritt, wurden Anlagen dieser Technologie neu gebaut.

In den Szenarien zeigte sich, dass sich die installierte Kraftwerkskapazität in der Schweiz deutlich unterschiedlich entwickeln wird (Bild 2).

Szenariomässig (exogen) vorgegeben ist der Neubau der erneuerbaren Energien. Während im Szenario 3 am meisten Kapazität zugebaut wird, sind die Werte in den anderen beiden Szenarien jeweils deutlich geringer.

Die Szenarien unterscheiden sich bei der Leistung der Gaskombikraftwerke. So sind in Szenario 1 rund 2900 MW, in Szenario 2 nur rund 1800 MW und in Szenario 3 gar keine Gaskombikraftwerke installiert. In Szenario 3 unterbleibt der Bau nicht nur wegen mangelnder Rentabilität, sondern auch wegen des Szenariodesigns, das 100 % Produktion aus erneuerbaren Energien im Jahr 2050 annimmt. Die Gaskombikraftwerke werden in den anderen beiden Szenarien erstmals zwischen etwa 2021 und 2025 in Betrieb gehen.

Erneuerbare Energien werden bereits heute, aber verstärkt langfristig ab 2025 zugebaut. Ab 2035 dominiert in allen Szenarien der forcierte Zubau von erneuerbaren Energien, allen voran von Fotovoltaik. Wärmekraftkopplung rentiert nur, wenn ein Fördermechanismus ähnlich der deutschen Förderung aufgebaut wird.

Austausch mit Europa

Einen Beitrag zur Versorgung der Schweiz liefert der Austausch mit den Nachbarländern.

Die stundenaufgelösten Analysen der VSE-Studie ermöglichten, die Wechselwirkungen zwischen Nachfrage, Wetter und Produktion sowie Aussenhandel im Detail zu untersuchen. Verglichen mit der Situation heute und in naher Zukunft wird sich der Austauschsaldo der Schweiz mit dem Ausland deutlich verändern (Bild 3).

Im Jahr 2035 werden netto 18–22 TWh Strom aus dem Ausland bezogen. Lieferländer werden vornehmlich Frankreich und Deutschland sein. Zugleich liefert die Schweiz Strom nach Italien. Dabei kann es sich sowohl um direkte Transitlieferungen als auch um zeitversetzte Lieferungen handeln. Im zweiten Fall wird mit den Importen Wasser in den Pumpspeicherwerken hochgepumpt und später für den Export turbiniert.

Langfristig gehen die Exporte der Schweiz nach Italien zurück, weil die Schweizer Lieferungen weniger wettbewerbsfähig sind. Schweizer Gaskraftwerke, die oft den Marktpreis bestimmen, bieten dann keinen Kostenvorteil etwa gegenüber italienischen Gaskraftwerken. Hohe Anteile solarer Produktion werden zudem mit kurzfristigen Grenzkosten von null in die Stromnetze eingespeist. Insgesamt sind Exporte künftig weniger relevant für die Schweizer Stromwirtschaft, Importe jedoch werden wichtiger. Sie sind Konkurrenz zu inländischer Stromerzeugung, etwa in Gaskombikraftwerken.

Bedarf nach Flexibilität steigt

Die Analyse zeigte, dass die Anforderungen an die steuerbare Produktion ansteigen werden. Bei verstärkter Stromerzeugung aus Wind und Sonne muss die verbleibende, steuerbare Erzeugungskapazität stärker schwankende Nettolasten (Residuallasten) ausgleichen können. Mit dem Ausbau der Fotovoltaik und Windkraft wird damit der Bedarf nach steuerbarer Flexibilität deutlich steigen.

Bild 4 gibt exemplarisch für den Januar in den Jahren 2015, 2035 und 2050 an, wie in stündlicher Auflösung das Zusammenspiel aus Importen, Exporten und Betrieb der Schweizer Kraftwerke aussehen wird. Zu erkennen ist, wie im Zeitablauf Kernenergie an Bedeutung verliert, Gaskombikraftwerke und Importe aber relevanter werden.

Fazit

Die Analyse zeigt, dass funktionsfähige, versorgungssichere, elektrische Systeme verschieden ausgestaltet werden können. Hohe Anteile neuer Energien können in die Netze aufgenommen werden, wenn deren Ausbau gefördert wird. Zugleich sind die Netze anzupassen. Besonders hohe Investitionen sind bei der Erzeugung nötig, wobei inländische Stromproduktion und Importe im Wettbewerb stehen.

Résumé

Conception du futur système de l'approvisionnement électrique en Suisse

Interaction de la production, des réseaux, de la consommation et du négoce international

La question de savoir comment équilibrer à tout moment l'offre et la demande dans les réseaux est capitale pour l'approvisionnement électrique. Pour ce faire, il est nécessaire d'analyser l'interaction des divers éléments du système électrique complet. Selon l'étude de l'AES « Scénarios pour l'approvisionnement électrique du futur », l'extension forcée des énergies renouvelables, notamment du photovoltaïque, dominera la Suisse à partir de 2035. Pour pouvoir absorber la production d'électricité à partir du vent et du soleil, les réseaux de distribution doivent être renforcés d'ici 2050 sur 20 000 km, 55 000 km ou 85 000 km en fonction du scénario choisi. Par ailleurs, la production devra être toujours plus flexible étant donné que les productions solaire et éolienne fluctuent fortement. Les échanges avec les pays étrangers contribueront également à l'approvisionnement électrique. En 2035, la Suisse soutirera 18 à 22 TWh nettes d'électricité de l'étranger, notamment de France et d'Allemagne. La Suisse alimentera toutefois l'Italie bien que ces exportations diminueront à long terme. Mn

Referenzen

[1] Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen: Wege in die neue Stromzukunft – Gesamtbericht, 2012.
[2] Consentec: Auswirkungen dezentraler Einspeisung auf die Verteilnetze in der Schweiz – Untersuchung im Auftrag des Verbands Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen, Aachen, 2012.
[3] Pöyry Management Consulting: Angebot und Nachfrage nach flexibler Erzeugungskapazität in der Schweiz – Studie im Auftrag des Verbands Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen (VSE), Zürich, 2012.

Angaben zu den Autoren

Dr. **André Vossebein** ist Senior Strategy Manager bei der Centralschweizerischen Kraftwerke AG und war Teilprojektleiter Systembetrachtung der Studie «Wege in die neue Stromzukunft».

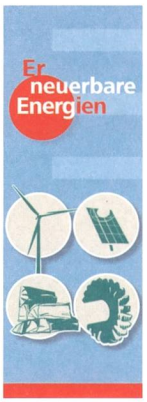
Centralschweizerische Kraftwerke AG, 6032 Emmen
andre.vossebein@ckw.ch

Dr. **Andreas Poncet** ist Head of Analytics and Hydro Optimisation bei Alpiq und war Mitarbeiter im Teilprojekt Systembetrachtung der Studie «Wege in die neue Stromzukunft».

Alpiq, 1001 Lausanne
Andreas.Poncet@alpiq.com

Flyer «Strom aus erneuerbaren Energien»

Eine viermal gefaltete A4-Seite, beidseitig vierfarbig bedruckt, informiert über:

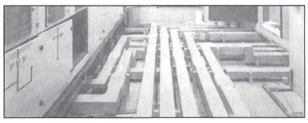


- die Bedeutung von Strom aus erneuerbaren Energien in der Schweiz,
- Produktion und Kosten,
- theoretisches und nutzbares Potenzial des «grünen» Stroms,
- die verschiedenen erneuerbaren Energiequellen.

Jetzt erhältlich für CHF –.65 bis –.85/ Stück (mengenabhängig, zzgl. MwSt. und Versandkosten): www.strom.ch oder info@strom.ch

Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
Association des entreprises électriques suisses
Associazione delle aziende elettriche svizzere
www.strom.ch, www.electricite.ch

VSE AES



LANZ HE Stromschienen zur sicheren Stromübertragung und -verteilung IP 68 Giessharzvergossen 400 A – 6000 A

Die weltbeste Stromschiene. 100 % korrosionsfest. 3-fach geprüft:
1. **geprüft auf Erdbebensicherheit SIA 261 Eurocode 8 (EMPA)**
2. **geprüft auf Schockwiderstand 1 bar Basisschutz (ACS Spiez)**
3. **geprüft auf Funktionserhalt im Brandfall 90 Minuten (Erwitte)**

3-fach geprüft gibt Sicherheit in schwierig zu evakuierenden Gebäuden, in Anlagen mit grossem Personenverkehr, in Wohn-, Hotel- und Bürohochhäusern.

- **Für die änder- und erweiterbare Stromversorgung** von Beleuchtungen, Anlagen und Maschinen in Labors, Werkstätten, Fertigungsstrassen, Fabriken, Sportstadien etc.
- **Speziell empfohlen** zur Verbindung Trafo-Hauptverteilung für Verwaltungsgebäude, Rechenzentren und Spitäler, zum Einsatz in Kraftwerken, Kehrichtverbrennungs-, Abwasserreinigungs- und Aussenanlagen. ISO-9001-zertifiziert.

Sehr kurze Planungs-, Produktions- und Montagetermine. Preis günstig. Qualität top. Zuverlässig: LANZ nehmen.

lanz oensingen ag 4702 Oensingen **Tel. 062 388 21 21**
e-mail info@lanz-oens.com **Fax 062 388 24 24**

☐ Mich interessieren **LANZ HE.** Bitte senden Sie Unterlagen.
☐ Könnten Sie mich besuchen? Bitte tel. Voranmeldung!

Name / Adresse / Tel. _____

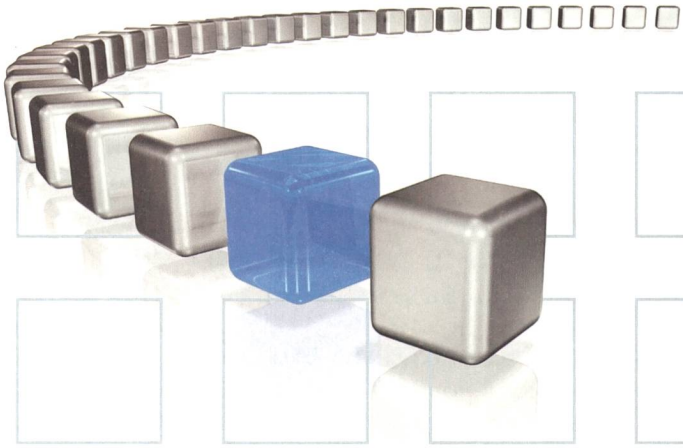
•S1

lanz oensingen ag
CH-4702 Oensingen
Telefon 062 388 21 21
www.lanz-oens.com
Südringstrasse 2
Fax 062 388 24 24
info@lanz-oens.com

electrosuisse

OPTIMATIK

Mobile Zählerdatenerfassung
Smart Metering
Zählerfernauslesung
Energiedatenmanagement
Energieabrechnung/CRM
Business Process Management



ENERGIEMARKTSYSTEME AUS EINER HAND

Optimatik ist Ihr leistungsstarker Partner, der durch Know-how und konsequente Branchenausrichtung Ihre Energiemarktsysteme optimal einführt und integriert. Wir unterstützen Sie gesamtheitlich bei der Realisierung Ihrer Projekte. Damit Sie sich um Ihre Kerngeschäfte kümmern können.

www.optimatik.ch

FROHE WEIHNACHTEN
UND EIN ERFOLGREICHES JAHR 2013

Optimatik AG
Gewerbezentrum Strahlholz 330
CH-9056 Gais
T +41 71 791 91 00

Bureau Romandie
Route d'Yverdon 1
CH-1033 Cheseaux-sur-Lausanne (VD)
T +41 21 637 21 00