Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 103 (2012)
Heft: 9

Artikel: Ein Gigawatt in zwölf Stunden
Autor: Moeckli, Marc / Nietlisbach, Alex / Sigrist, Donald
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-857334

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: 12.07.2025

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

BRANCHE **SMART GRID**

Ein Gigawatt in zwölf Stunden

Stromzukunft des Kantons Zürich auf der Leistungsebene

Die «Neue Energiepolitik» des Bundes fordert mehr Stromeffizienz und mehr erneuerbare Stromerzeugung. Wird die zweite Forderung im Versorgungsgebiet der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ) konsequent umgesetzt, ergeben sich im Verteilnetz auf der Leistungsebene langfristig grosse Herausforderungen. Eine aktuelle Studie liefert erste Erkenntnisse.

Marc Moeckli, Alex Nietlisbach, Donald Sigrist

Der Zubau an erneuerbaren Energien zur Stromproduktion bringt für Verteilnetzbetreiber zahlreiche Herausforderungen, die zur Gewährleistung eines stabilen und sicheren Netzbetriebs bewältigt werden müssen. Neben technischen und wirtschaftlichen Entwicklungen beeinflussen auch die politischen und gesetzlichen Rahmenbedingungen die Ausgestaltung des Zubaus. Letztere werden im Kanton Zürich massgeblich durch das Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (Awel) geprägt, das die kantonale Energiestrategie erarbeitet und die daraus resultierenden Vorschriften vorschlägt.

Zur Schaffung einer guten Planungsbasis haben die EKZ gemeinsam mit dem Awel eine Studie bei der Firma Infras in Auftrag gegeben. Dabei wurden die Potenziale erneuerbarer Energien im Kanton Zürich analysiert und deren Verfügbarkeit und Auswirkungen auf das EKZ-Verteilnetz untersucht.

Ambitionierter Stromnachfrage-Pfad

Als Grundszenario für die erwartete Nachfrageentwicklung für Strom diente das BFE-Szenario «Neue Energiepolitik» (BFE, Mai 2011), das auf die Verhältnisse im EKZ-Versorgungsgebiet adaptiert wurde (im Wesentlichen der Kanton Zürich ohne die Städte Zürich und Winterthur). Dieses Szenario geht von einem Wachstum der Stromnachfrage bis ins Jahr 2020 um etwas mehr als 7 % gegenüber 2010 aus. Anschliessend, bedingt durch die neue Energiepolitik und Effizienzmassnahmen, gelingt eine Wende: Bis ins Jahr 2050 sinkt die Stromnachfrage wieder auf das Niveau von 2010. Ergänzend zu dieser ambitionierten Entwicklung wurden in einem Sensitivitätsszenario auch die Auswirkungen einer erhöhten Stromnachfrage untersucht (bis 2050 +40 % gegenüber 2010).

Erzeugungspotenziale im Versorgungsgebiet der EKZ

Heute werden im EKZ-Stromversorgungsgebiet pro Jahr etwas mehr als 400 Mio. kWh Strom produziert – rund 15-mal weniger, als die knapp 900 000 Einwohner verbrauchen. Mehr als die Hälfte des produzierten Stroms stammt dabei aus Kehrichtverbrennungsanlagen, Holzverstromungs- sowie Biomasseanlagen, Wasserkraftwerke, Wärmekraftkopplungsanlagen (WKK) und insbesondere die Fotovoltaik spielen im Vergleich dazu eine untergeordnete Rolle.

Ganz anders sieht es gemäss Studienergebnissen beim Ausbaupotenzial aus: Hier dominiert die Fotovoltaik (Bild 1). Während im Versorgungsgebiet der EKZ bei WKK-Anlagen und Anlagen zur Nutzung von Wasserkraft, Biomasse, Wind und Kehricht nur ein beschränkter Zubau möglich ist, könnte die Fotovoltaik bis 2050 massiv ausgebaut werden. Würde ein Grossteil der günstig ausgerichteten Dachflächen genutzt, könnten pro Jahr fast 1,2 Mia. kWh Strom erzeugt werden. Diese Strommenge – gemäss Untersuchung mehr als die Hälfte des gesamten Erzeugungspotenzials 2050 – würde heute ausreichen, um 180 000 Einwohner mit Strom zu versorgen. Vorsichtig schätzen die Studienautoren das Potenzial der Tiefengeothermie ein. Wann und in welchem Umfang Wärme aus dem Erdinneren für die Stromproduktion genutzt werden kann, ist aus heutiger Sicht noch mit hohen Unsicherheiten verbunden.

40 % Bedarfsdeckung: Nach 2050 denkbar

Werden die Erzeugungspotenziale voll ausgeschöpft, könnten nach 2050 rund 40 % des Stromverbrauchs im EKZ-Versorgungsgebiet mit lokal produzierter Elektrizität gedeckt werden. Ob dieser starke Ausbau auch tatsächlich realisiert wird, stand bei der Untersuchung nicht im Vordergrund. Zentral war die Frage, welche Auswirkungen ein solcher Zubau im Verteilnetz hätte. Die Schweizer Energiepolitik arbeitet jedenfalls daran, die Rahmenbedingungen für einen starken Ausbau der Erneuerbaren zu verbessern. Dabei spielt die Fotovoltaik auch in der nationalen Energiestrategie eine zentrale Rolle. Diese sieht – pro Einwohner – einen ähnlich starken Fotovoltaik-Ausbau vor wie für das EKZ-Versorgungsgebiet angenommen wurde. Ob sich auch die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen weiterhin günstig entwickeln werden, bleibt abzuwarten. Die bisher erzielten Preisreduktionen für Fotovoltaikanlagen lassen aber vermuten, dass diese Techno-

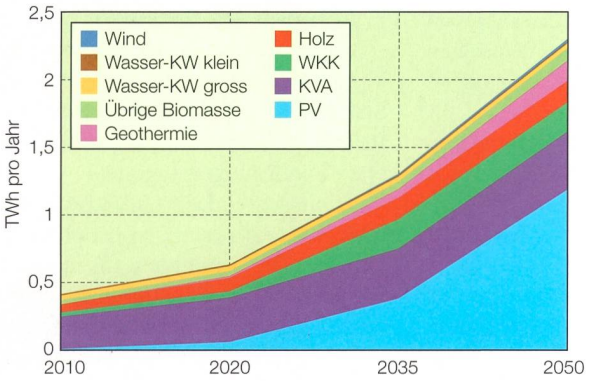

Bild 1 Ausbaupotenziale zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Versorgungsgebiet der EKZ. Im Sinne der «Neuen Energiepolitik» des Bundes wurde im untersuchten Grundszenario angenommen, dass die Potenziale voll ausgeschöpft werden.

BRANCHE **SMART GRID**

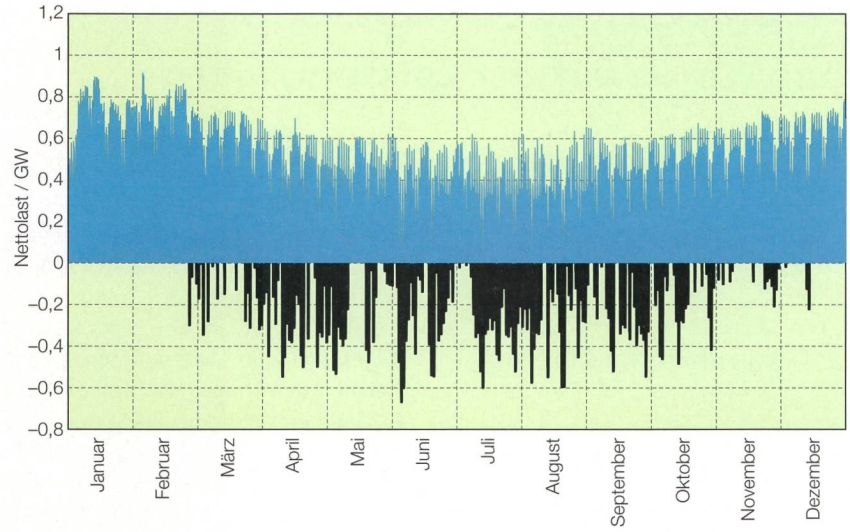

Bild 2 Modellergebnisse für das Grundszenario: Nettolast (Verbrauch minus Erzeugung) im EKZ-Versorgungsgebiet im Jahr 2050.

logie mittelfristig auch ohne finanzielle Förderung für den Betreiber rentabel wird.

Laständerungen bis zu 1 GW als neue Herausforderung

Wie die meisten Verteilnetze ist auch das EKZ-Netz für eine Stromverteilung von Grosskraftwerken bzw. dem Übertragungsnetz hin zu einer Vielzahl von kleinen Endverbrauchern konzipiert. Viele Netzkomponenten (Transformatoren, Netzschutz, Sicherungen, Leitungen etc.) und darauf basierende Betriebsabläufe wie Schaltvorgänge sowie die Lokalisierung und Behebung von Störungen, sind nicht darauf ausgelegt, dass eine substanzielle Rückspeisung von Strom erfolgt. Die Rückspeisung kann daher grosse und schlecht planbare Laständerungen und damit substanziell veränderte Stromflüsse im Verteilnetz verursachen, die einen stabilen Netzbetrieb beeinträchtigen.

Als Indikator für das Ausmass der erwarteten Auswirkungen wurde in der Studie die «Nettolast», die Differenz aus Verbrauchs- und Erzeugungsleistung im EKZ-Versorgungsgebiet, modelliert (Bild 2). Typischerweise betragen die Gesamtlasten im EKZ-Netz heute zwischen 600 MW und 1100 MW im Winter bzw. 400 MW und 800 MW im Sommer. Die Nettolast schwankt bereits heute relativ stark, bedingt durch die unterschiedliche Stromnachfrage zu verschiedenen Tageszeiten. Zwischen dem 14. und dem 15. Juli 2010 beispielsweise sank die Nettolast im EKZ-Versorgungsgebiet innerhalb 5 Stunden um über 400 MW – mehr, als das Kernkraftwerk Mühleberg bei Volllast aufbringen kann. Zudem bestehen saisonale Unterschiede: Im Winter liegt die Stromnachfrage generell höher als im Sommer, weil zahlreiche Elektroheizungen und Wärmepumpen in Betrieb sind.

Der erwartete Ausbau der dezentralen Produktion verstärkt die bereits bestehenden Netto-Leistungsschwankungen im EKZ-Verteilnetz zusätzlich, hauptsächlich verursacht durch die Fotovoltaikanlagen, die tageszeitabhängig, saisonal und aufgrund von Wettereinflüssen unterschiedlich viel Strom produzieren.

Die Modellrechnungen zeigen, dass an sonnigen Frühlings- und Sommertagen bis ins Jahr 2050 Änderungen in der Nettolast von über 1000 MW in 12 h auftreten können (Bild 3). Dies entspricht fast der Maximalleistung des grössten Kernkraftwerks der Schweiz in Leibstadt respektive der heutigen Maximallast im EKZ-Netz. Während an solchen Tagen in der Nacht noch 400 MW Leistung ins EKZ-Versorgungsgebiet eingespeist werden, müssten ohne Gegenmassnahmen zur folgenden Mittagszeit aus demselben Gebiet mehr als 600 MW Leistung exportiert werden.

Die grössten Nettolaständerungen entstehen hauptsächlich in den warmen Monaten, sodass sich neben den kurzfristigen Leistungsschwankungen auch die Saisoncharakteristik verschärft: 2050 werden mit den Fotovoltaikanlagen im Sommer hohe Stromüberschüsse produziert (im Grundszenario betragen sie gemäss Rechenmodell knapp 200 Mio. kWh pro Jahr). Im Winter hingegen, wenn der Bedarf aufgrund einer stärkeren Nachfrage nach Licht und Wärme um rund 20 % höher ist, reicht die dezentrale Stromproduktion bei Weitem nicht zur Deckung der Nachfrage.

Ähnliche Auswirkungen auch bei anderen Entwicklungen

Je nachdem, wie stark sich Fotovoltaikanlagen, Wärmepumpen respektive die Elektromobilität langfristig verbreiten, fallen die resultierenden Nettolastschwankungen im EKZ-Versorgungsgebiet unterschiedlich hoch aus. Einen Einfluss auf zukünftige Leistungsschwankungen hat auch die Entwicklung der Stromnachfrage. Verschiedene Nachfrage-Szenarien wurden in der Studie ergänzend zum Grundszenario berücksichtigt. Die drei Haupterkenntnisse des Grundszenarios bestätigen sich allerdings in allen untersuchten Szenarien.

- Die Fotovoltaik stellt die zentrale Herausforderung auf der Leistungsebene dar, da sie im EKZ-Versorgungsgebiet mit Abstand das grösste Erzeugungspotenzial hat. Je stärker und je früher der Zubau erfolgt, desto grösser werden die damit verbundenen Herausforderungen.
- Die Leistungsschwankungen könnten sogar noch etwas höher ausfallen, wenn der Gesamtstrombedarf noch stärker als angenommen steigt bzw. sich Wärmepumpen noch stärker verbreiten. Der zusätzliche Strombedarf fällt nämlich meist nicht zur Mittagszeit und vor allem nicht im Sommer an, wenn viel Fotovoltaikstrom zur Verfügung steht.
- Eine sehr starke Verbreitung von Elektrofahrzeugen hat auch leistungsseitig deutlich geringere Auswirkungen als der Ausbau der Fotovoltaik. Die Elektromobilität führt eher zu etwas kleineren Nettolaständerungen – besonders wenn sie auf die Fotovoltaik-Stromerzeugung abgestimmt werden kann.

Abregelung von Fotovoltaikanlagen als Option

Zur Bewältigung der grossen Nettolaständerungen werden langfristig neue Strategien und Methoden benötigt. Im Rahmen der Untersuchung wurden dazu erste Überlegungen angestellt.

Technisch einfach und kostengünstig wäre eine Abregelung von Fotovoltaikanlagen. Diese könnten z.B. direkt am Wechselrichter so eingestellt werden, dass die Anlagen auch zur Mittagszeit nur noch einen Teil ihrer Spitzenleistung erreichen. Damit würden Überschuss-

BRANCHE **SMART GRID**

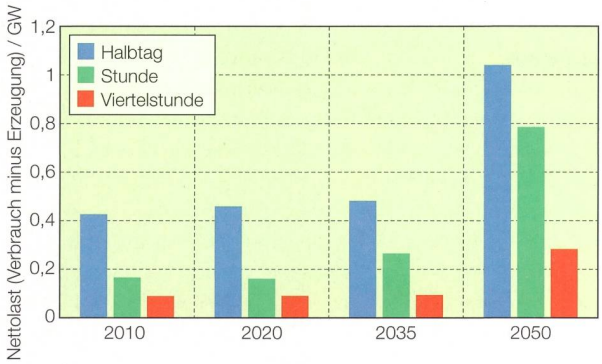

Bild 3 Maximal auftretende Leistungsspreizungen in der Nettolast im EKZ-Versorgungsgebiet.

Leistungsspitzen in den warmen Monaten gemindert. Die Energieverluste lägen in diesem Fall vergleichsweise tief.

Die Studienergebnisse zeigen, dass auch eine starke Begrenzung der PV-Produktionsleistung auf beispielsweise 60 % der Maximalleistung nur eine Energieeinbusse von rund 10 % im Vergleich zu einem unbeschränkten Betrieb verursachen würde, da Fotovoltaikanlagen die meiste Energie im Teillastbetrieb produzieren. In geringerem Umfang wird diese Massnahme zur Gewährleistung der Netzstabilität bereits heute in einzelnen Gebieten Deutschlands angewandt.

Bei einem sehr starken Ausbau der Fotovoltaik wird die Abregelung von kritischen Anlagen langfristig sicher auch in der Schweiz eine Rolle spielen – weil die Speicherung des Überschussstroms nicht in jedem Fall möglich ist.

Die Studienautoren weisen allerdings darauf hin, dass die PV-Abregelung allein die Problematik der Leistungsschwankungen nicht lösen kann, denn im Winter, wenn die PV-Anlagen ihre Maximalleistung wegen tieferen Sonnenständen sowieso nicht erreichen, hat die Abregelung keinen Einfluss. Dennoch können in diesen Zeiten, so die Modellergebnisse für das Grundszenario, im EKZ-Versorgungsgebiet bis 2050 an einzelnen Tagen Leistungsschwankungen von über 800 MW entstehen (Bilder 2 und 4). Verursacht werden diese durch das Wechselspiel zwischen Wärmepumpen und PV-Anlagen. Während Erstere an sehr kalten, aber sonnigen Tagen früh morgens noch auf Hochtouren laufen, führen die PV-Mittagsspitzen zu einem starken Abfall der Nettolast.

Verbrauch auf die PV-Stromproduktion ausrichten

Als weitere Handlungsoption könnte der Elektrizitätsverbrauch in seinem Zeitverlauf beeinflusst werden. Denkbar ist beispielsweise, dass die bis 2050 stark verbreiteten Wärmepumpen im Winter möglichst dann betrieben werden, wenn PV-Strom zur Verfügung steht. In grossen Mehrfamilienhäusern mit Wärmespeicher oder in Häusern mit hoher Gebäudespeichermasse (z.B. Betondecken) wäre dies grundsätzlich möglich. Entsprechende Lösungen sind auch bei der Gebäudekühlung im Sommer möglich. Zusätzlich könnten weitere Lasten, beispielsweise Industrieanlagen oder Haushaltgeräte vermehrt auf die PV-Stromproduktion ausgerichtet werden. Und falls sich Elektrofahrzeuge stark verbreiten, stünden auch diese für das dezentrale Lastmanagement zur Verfügung.

Die Studienergebnisse zeigen auf, dass diese Potenziale durchaus relevant sind: Zumindest im Winter, wenn zusätzlich zu den Elektrofahrzeugen auch noch sehr viele Wärmepumpen in Betrieb sind, kann die Nettolast relativ stark «geglättet» werden. Allerdings kann der Lastverlauf nur über wenige Stunden beeinflusst werden – die Saisonproblematik bleibt also bestehen. Und für die vollständige Glättung der starken Leistungsschwankungen im Sommer reichen die Lastmanagement-Potenziale bei Weitem nicht aus.

Ohne Stromspeicherung geht es nicht

Die Studienergebnisse zeigen deutlich, dass grosse zusätzliche Stromspeicherkapazitäten benötigt werden, falls das Potenzial der erneuerbaren Energien massgeblich genutzt werden soll. Ob dabei vorwiegend dezentrale Speichersysteme oder vor allem grosse Speicherkraftwerke zum Einsatz kommen, ist aus heutiger Sicht noch unklar. In diesem Zusammenhang spielt es auch keine Rolle, ob sich die Speicherkapazitäten im untersuchten EKZ-Versorgungsgebiet befinden. Falls es die Netzinfrastruktur erlaubt, ist ein «Stromexport» zwecks Speicherung eine naheliegende Option (z.B. in Gebiete mit Stauseen).

Welche Speicherkapazitäten im untersuchten Grundszenario bis 2050 nötig wären, zeigt die Studie eindrücklich: Auch wenn die PV-Anlagen im EKZ-Versorgungsgebiet stark abgeregelt würden (im Rechenmodell auf 60 % der Maximalleistung), wären für die Einspeicherung aller Stromüberschüsse rund 75 Mio. kWh Speicherkapazität nötig. Das entspricht der doppelten Kapazität des Speicherkraftwerks «Linth-Limmern», das die Axpo bis 2015 realisiert. Die Speicherkapazitäten müssten entsprechend höher sein, falls die PV-Anlagen nicht abgeregelt würden. Ausserdem müssten an kritischen Sommer- und Wintertagen mehr als 2 Mio. kWh Speicherkapazität für den kurzfristigen Lastausgleich zur Verfügung stehen.

Bilder: EKZ

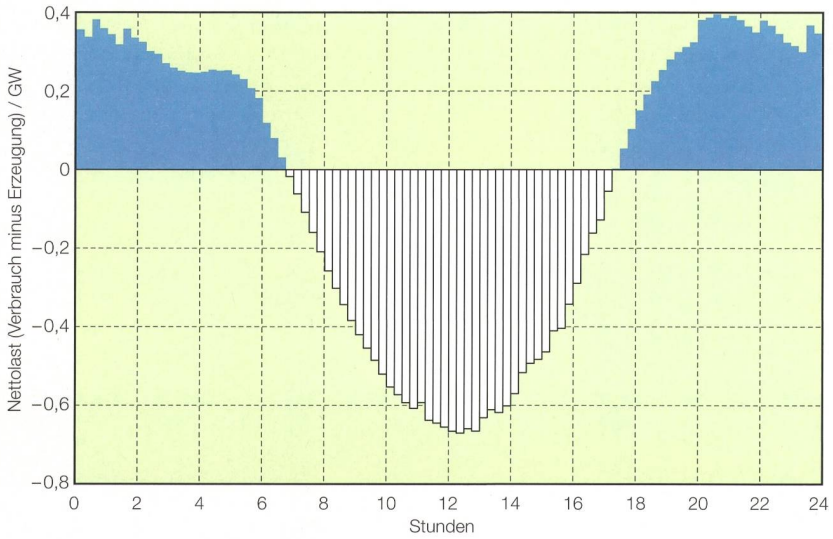

Bild 4 Nettolast im EKZ-Versorgungsgebiet an einem sonnigen Sonntag im Mai 2050.

BRANCHE **SMART GRID**

Es bleibt noch etwas Zeit zur Umstellung

Das heutige EKZ-Verteilnetz ist noch nicht für die Aufnahme grosser Mengen an dezentral produziertem Strom konzipiert, um den erwarteten Zubau an erneuerbaren Energien ohne signifikante Auswirkungen zu verkraften. Zusätzliche Investitionen in das Verteilnetz sind notwendig, um die oft sehr dezentral erzeugte Energie aufzunehmen.

In den untersuchten Szenarien wird die Stromnachfrage im EKZ-Verteilnetz bis etwa zum Jahr 2035 noch in jeder Viertelstunde die dezentrale Produktion übersteigen. Anschliessend werden aber einzelne Tage mit Stromüberschüssen erwartet, zu deren Handhabung neben technischen Anpassungen im Netz auch neue Methoden und Verfahren wie beispielsweise neue Lastmanagement-Ansätze und lokale Speicherung benötigt werden, um einen stabilen und sicheren Netzbetrieb zu gewährleisten.

Für EKZ speziell bedeutend ist die langfristige Entwicklung und der Umgang mit der Fotovoltaik, die nach 2035 zu starken saisonalen und tageszeitabhängigen Effekten und speziell im Sommer zu beträchtlichen Mengen an Überschussenergie führen wird.

Für den Umgang mit den saisonalen Stromüberschüssen werden neue Konzepte und Lösungen benötigt. Die untersuchten Ansätze wie Lastmanagement und Zwischenspeicherung von Energie bieten nur für relativ kurze Zeiträume eine Entlastung. Zudem sind sie für die erwarteten grossen Mengen an Überschussenergie auch quantitativ nicht ausreichend.

Sollte entgegen der Annahmen des Grundszenarios die Stromnachfrage auch nach 2020 weiter ansteigen, so entschärft sich die Problematik aus Sicht der Verteilnetze nicht. Die erwarteten Leistungsspreizungen werden sogar eher noch verstärkt, da die zusätzliche Nachfrage vorwiegend in der kalten Jahreszeit und bei wenig Fotovoltaikproduktion auftritt. Analoges gilt auch für die Szenarien mit einem forcierten Ausbau von Wärmepumpen sowie von Fotovoltaik.

Als der Energiepolitik der öffentlichen Hand verpflichtete Organisationen müssen die EKZ und das Awel die hier beschriebenen Herausforderungen proaktiv angehen. Die vorgestellte Studie ist daher ein wichtiger Ausgangspunkt für weitere Untersuchungen. Die Ergebnisse werden in den laufenden Arbeiten des Awel sowie der langfristigen Netzplanung der EKZ berücksichtigt und zu einer verbesserten Energieeffizienz und Nutzung der erneuerbaren Energien beitragen.

Résumé

Un gigawatt en douze heures

L'avenir électrique du canton de Zurich au niveau de la puissance

La « nouvelle politique énergétique » de la Confédération exige une augmentation de l'efficacité électrique et de la production d'électricité d'origine renouvelable. Si cette seconde exigence est mise en œuvre de manière conséquente dans la zone desservie par EKZ (Elektrizitätswerke des Kantons Zürich), le réseau de distribution devra relever, à long terme, de grands défis au niveau de la puissance.

Outre le scénario de base « nouvelle politique énergétique », divers cas de demande ont été pris en considération dans l'étude actuelle. Les trois constatations principales résultant de l'étude du scénario de base ont été confirmées dans tous les cas examinés.

Ainsi, le photovoltaïque représente le défi majeur au niveau de la puissance car il a de loin le plus fort potentiel de production électrique dans la zone desservie par EKZ. Les variations de puissance pourraient même être encore plus importantes si le besoin en électricité total augmente plus que prévu ou si les pompes à chaleur se répandent encore plus. Finalement, une expansion massive des véhicules électriques aurait, en ce qui concerne la puissance, des effets beaucoup moins importants que ceux du développement du photovoltaïque.

Pour EKZ, le développement à long terme et la gestion du photovoltaïque prêtent particulièrement à conséquence : après 2035, ce dernier sera à l'origine de grands effets saisonniers et dépendants de l'heure du jour et, en particulier en été, de quantités considérables d'énergie excédentaire.

Le traitement de ces excédents électriques saisonniers requiert de nouveaux concepts et solutions. Les approches étudiées comme la gestion des charges et le stockage intermédiaire d'énergie ne permettront un soulagement que pour des périodes relativement courtes. En plus, vu les grandes quantités d'énergie excédentaire attendues, elles ne seront pas suffisantes. Cette étude doit être considérée comme un point de départ pour d'autres investigations. No

Angaben zu den Autoren

Dr. **Marc Moeckli** ist Leiter Unternehmensentwicklung.
Elektrizitätswerke des Kantons Zürich, 8022 Zürich, marc.moeckli@ekz.ch

Alex Nietlisbach ist Energieplaner in der Abteilung Energiewirtschaft.
Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, 8090 Zürich alex.nietlisbach@bd.zh.ch

Donald Sigrist ist wissenschaftlicher Berater im Geschäftsbereich Energie.
Infras, 8045 Zürich, donald.sigrist@infras.ch

Anzeige

... richten Sie Ihre Fragen an:

www.technik-forum.ch

powered by electrosuisse