



Die Gemeinde Winkel beim Flughafen Zürich-Kloten war der Schauplatz des Pilotprojekts OrtsNetz.

Anreize schaffen, Verteilnetz entlasten

Pilotprojekt | Ein teurer Netzausbau lässt sich vermeiden, wenn Spitzenbelastungen der Verteilnetze möglichst gering gehalten werden. Ein Pilotprojekt der EKZ und der ETH Zürich in der Zürcher Gemeinde Winkel hat beispielhaft untersucht, wie sich Stromspitzen in Verteilnetzen mit Hilfe finanzieller Anreize oder einem intelligenten direkten Lastmanagement brechen lassen.

BENEDIKT VOGEL

Wie andere Stromversorger ist auch EKZ mit einem rasanten Ausbau der Photovoltaik konfrontiert: Heute sind im Netz des Stromversorgers, der im Kanton Zürich rund eine Million Personen mit Elektrizität beliefert, ca. 400 MW PV-Leistung installiert. Für das Jahr 2035 werden 1700 MW erwartet. Auch wenn der Solarstrom teilweise an Ort und Stelle verbraucht wird, muss mit höheren Einspeisespitzen ins Verteilnetz gerechnet werden. Zu einer höheren Netzbelastung führen aber auch der vermehrte Einsatz von Wärmepumpen für die Beheizung von Gebäuden und der Ausbau der Elektromobilität – insbesondere dann, wenn diese Bezüge gleichzeitig erfolgen.

Spitzen im Netz vermeiden

Jedes Verteilnetz muss dafür ausgelegt sein, die maximal auftretenden Stromspitzen – seien es Einspeise- oder Lastspitzen – zu bewältigen. Bereits heute investiert EKZ jede Woche gut zwei Millionen Franken in Wartung und Ausbau seines 17 000 km langen Verteilnetzes und ist deshalb wie andere Stromversorger daran interessiert, dass diese Kosten nicht aus dem Ruder laufen und der Netzausbau minimiert werden kann. Vor diesem Hintergrund führte das Unternehmen zusammen mit dem Power Systems Laboratory und dem Bits to Energy Lab der ETH Zürich in den letzten drei Jahren in der Zürcher Gemeinde Winkel nördlich von Kloten ein Pilotprojekt zu innovati-

vem Lastmanagement durch. Die Studie wurde aus dem P+D-Programm des Bundesamts für Energie mitfinanziert.

Gemeinhin werden von einer Trafostation mehrere Hundert Haushalte mit Strom versorgt. Die elektrische Leistung, die der Stromversorger über die Trafostation zur Verfügung stellen muss, schwankt im Tagesverlauf. Sie ergibt sich aus dem aktuellen Stromverbrauch der angeschlossenen Haushalte, abzüglich der Stromproduktion im Verteilnetz durch Photovoltaik und andere dezentrale Stromerzeuger. Um Netzausbauten zu vermeiden, sind Netzbetreiber daran interessiert, Stromspitzen im Verteilnetz möglichst tief zu halten. Das lässt sich unter anderem dadurch erreichen, dass der

Stromverbrauch der Haushalte «netz-dienlich» über den Tag verteilt wird.

Arten des Lastmanagements

Für einen netzdienlichen Betrieb müssen Warmwasserboiler, Wärmepumpen und Elektroautos so gesteuert werden, dass sie die Energie dann aus dem Netz beziehen, wenn der übrige Stromverbrauch im Verteilnetz relativ tief ist oder wenn dezentral viel Solarstrom produziert wird. Dieses Lastmanagement obliegt dem Stromversorger oder dem Stromkonsumenten, meist unterstützt durch «kluge» Steuerungstechnik. So können Überlastungen der Transformatoren und des Netzes vermieden werden, was Ausbauten überflüssig macht oder zumindest verzögert.

Im Pilotprojekt wurden drei neue Wege für dieses Lastmanagement erprobt:

Direktes Lastmanagement: Hier steuert EKZ den Betrieb von Boilern, Wärmepumpen und den Ladevorgang von E-Autos so, dass die Belastung des Netzes über den Tag hinweg möglichst gleichmässig verteilt wird. Dieser Ansatz wird seit Langem mit der Rundsteuerung praktiziert. Neu ist, dass die einzelnen Geräte individuell ein- und ausgeschaltet werden können, je nach Auslastungsprognosen für das Ortsnetz. Die Ladevorgänge von E-Autos werden via Cloud-Schnittstellen der Autohersteller gesteuert. Somit mussten keine Lastschaltgeräte installiert werden wie bei Boilern und Wärmepumpen.

Indirektes Lastmanagement über statische Tarife (Bild 1a): Hier setzt EKZ einen finanziellen Anreiz, der die Stromkunden dazu motivieren soll, ihre Elektrogeräte netzdienlich zu betreiben. Als Anreiz dienen Netznutzungstarife, die vorher festgelegt wurden und nach Tageszeit unterschiedlich hoch sind.

Indirektes Lastmanagement über dynamische Tarife (Bild 1b): Hier besteht der finanzielle Anreiz aus Netznutzungstarifen, die sehr kurzfristig festgelegt werden, in Abhängigkeit von Faktoren wie der Trafoauslastung und Wetterdaten. Der Tarif wird dabei von einer KI mit einem Vorlauf von ca. 5 Minuten für die Dauer von 15 Minuten errechnet.

Das indirekte Lastmanagement mittels variabler Tarife schafft für die

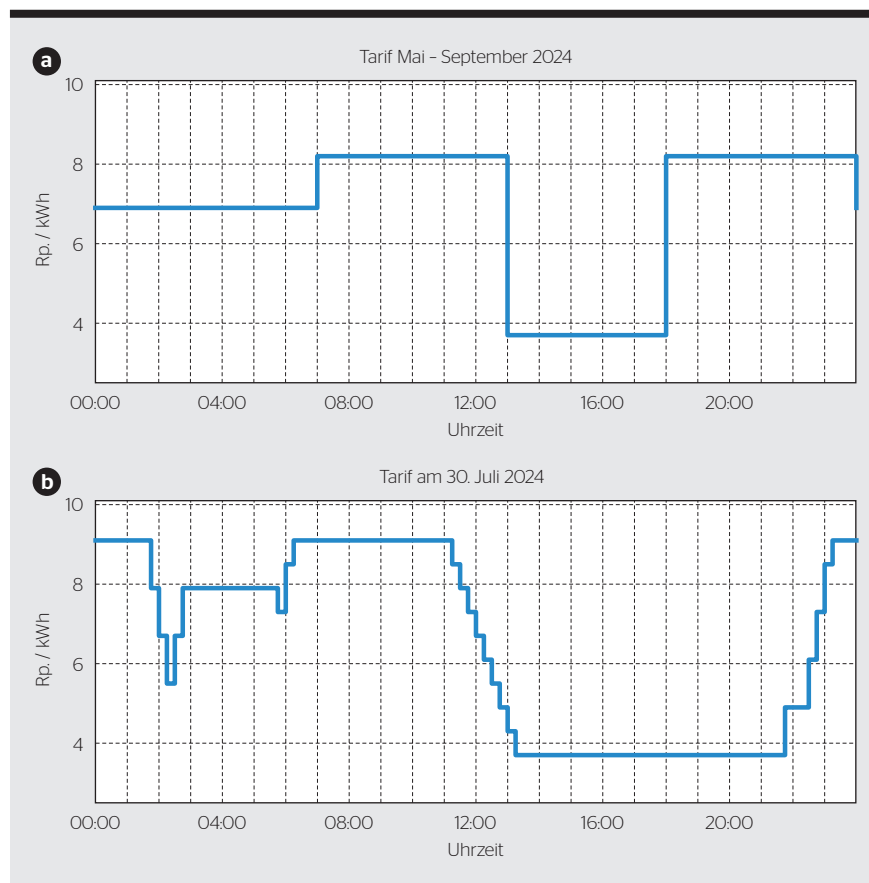


Bild 1 Im Projekt eingesetzte Tarife: **a)** statisch, **b)** dynamisch.

Stromkunden einen Anreiz, ihre Geräte so zu benutzen, dass die Belastung des Verteilnetzes minimiert wird. Diese Methode erinnert an die bekannten Hoch- und Niedertarife, weicht aber in wichtigen Punkten davon ab.

Stromspitzen reduziert

Diese drei Formen des Lastmanagements wurden von Oktober 2023 bis Dezember 2024 in der Gemeinde Winkel an je einer Trafostation und den angeschlossenen Haushalten getestet (Bild 2). Um die direkte und indirekte Laststeuerung technisch zu ermöglichen, wurden von den gut 600 teilnehmenden Haushalten 64 mit einem neu entwickelten Lastschaltgerät für Boiler und Wärmepumpen ausgestattet. Zusätzlich haben 42 Haushalte ihre E-Autos als steuerbare Lasten angemeldet; 23 davon konnten während des Feldtests dann mindestens einmal gesteuert werden. Alle anderen Elektrogeräte in den gut 600 Haushalten wurden nicht automatisch gesteuert, aber die Bewohner waren aufgerufen, die Geräte in Niedertarifzeiten zu betreiben und so Geld zu sparen.

Ein Hauptergebnis der Studie: Mit den drei untersuchten Arten des Lastmanagements lassen sich Einspeisespitzen von PV-Strom in den Sommermonaten reduzieren. Am geeignetsten waren dynamische Tarife: Sie senkten die täglichen Spitzen im Mittel um 8% (gegenüber 6% durch direktes Lastmanagement und 5% durch statische Tarife). Die Prozentzahlen beziehen sich auf die Spitzenreduktion im Verhältnis zur gesamten Nennleistung aller Boiler, die als flexible Lasten genutzt wurden. Die Referenz auf die Nennleistung erlaubt es, die Spitzenreduktionen der drei in die Studie einbezogenen Trafostationen miteinander zu vergleichen. Die höchste Spitze im analysierten Zeitfenster wurde mit dynamischen Tarifen um 14% der Nennleistung flexibler Boiler gesenkt (gegen 9% durch direktes Lastmanagement und 0% durch statische Tarife).

Marina González, Leiterin New Technology, Data & AI bei EKZ, wertet das Ergebnis des Feldtests positiv: «Auch wenn sich die Stromversorger eine grössere Senkung wünschen würden, zeigt der Pilot doch, dass alle

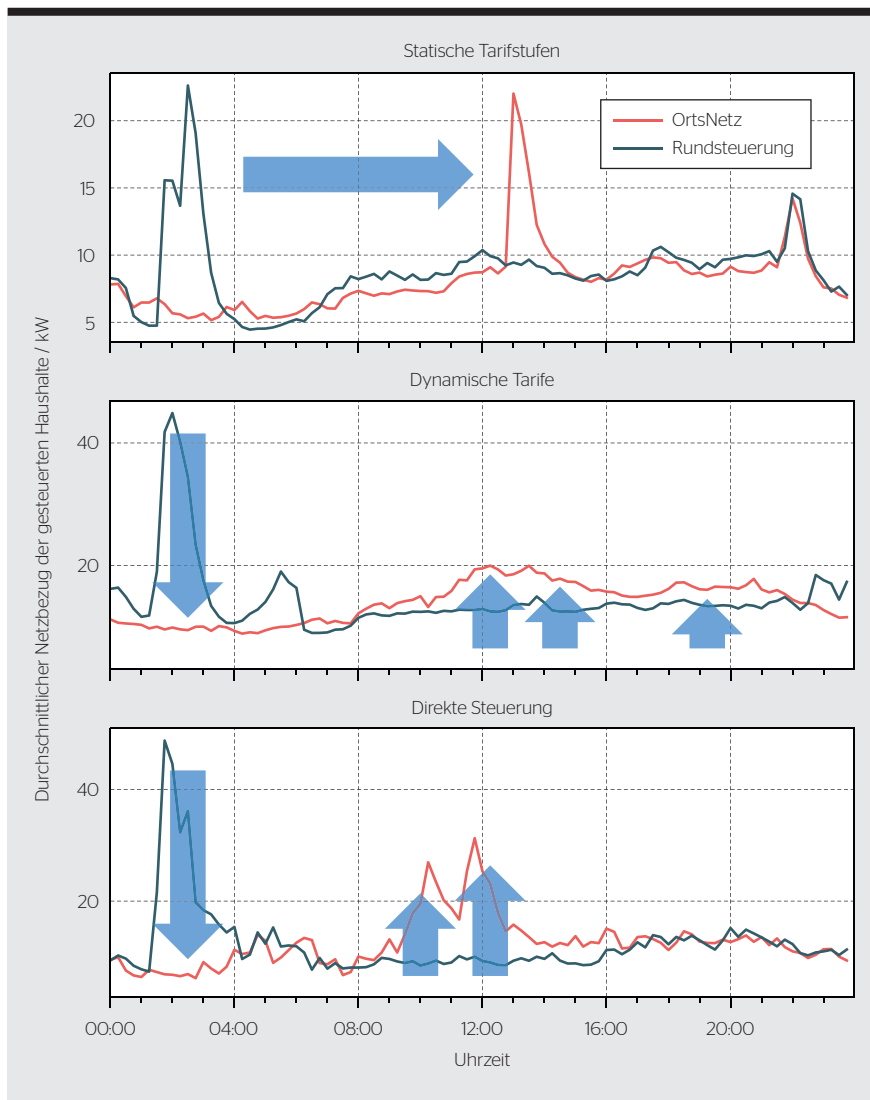


Bild 2 Stromverbrauch im Sommer der Haushalte der Gemeinde Winkel, bei denen ein Elektroboiler und/oder eine Wärmepumpe im Pilotprojekt mit einem Lastschaltgerät automatisch ein- und ausgeschaltet wurde.

dynamischen Ansätze Wirkung zeigen und das Potenzial haben, Netzverstärkungen mittelfristig zu vermeiden.» Das gelte für dynamische Tarife ebenso wie für intelligente direkte Steuerung.

Effekt nur im Sommer

Dieses Ergebnis mag überraschen, denn man würde vielleicht erwarten, dass ein direktes Lastmanagement durch den Stromversorger das beste Ergebnis erzielt. Warum das im Pilotprojekt nicht der Fall war, erklärt González so: «Die direkte Steuerung ist keineswegs trivial, man muss dafür verschiedene Annahmen treffen, und da kann man falsch liegen.» Im Pilotprojekt erfolgte sowohl die direkte als auch die indirekte Steuerung über Tarife mittels Algorithmen, die an der

ETH Zürich entwickelt worden waren. «Ein besonderer Fokus lag darauf, die Algorithmen so zu gestalten, dass sie mit den in Realität verfügbaren Informationen und Steuerungsmöglichkeiten funktionieren. Das ist wichtig, damit die Algorithmen mit nur wenigen Änderungen bezüglich der bestehenden Infrastruktur auch über das Projekt hinaus implementiert werden können», sagt Gabriela Hug, Professorin am Power Systems Laboratory der ETH Zürich.

Die oben ausgeführte Senkung der Stromspitzen bezieht sich auf die Sommermonate. Im Winter zeigt das Lastmanagement weniger Wirkung: In diesem Zeitraum liessen sich nur mit der direkten Steuerung Stromspitzen vermindern – oder aber durch Abschalten der bestehenden Rundsteuerung. Der

Grund: Im Winter wird weniger PV-Strom erzeugt, und die Strombezüge sind im Tagesverlauf gleichmässiger verteilt (wobei die Rundsteuerung der gleichmässigen Verteilung mitunter entgegenwirkt). Marina González ist überzeugt, dass direktes oder indirektes Lastmanagement mittelfristig auch im Winter gebraucht wird: «Steigt die Zahl der E-Autos, drohen Lastspitzen in den Abendstunden, die wir mit Lastmanagement angehen müssen.»

40% der Haushalte reagieren

Ein weiteres Ergebnis der Studie: Variable Netznutzungstarife zeigen auch Wirkung in Haushalten, in denen keine automatisch steuerbaren Lasten (Boiler, Wärmepumpen, E-Autos) vorhanden sind. In diesen Haushalten gibt es Elektrogeräte wie Geschirrspüler oder Waschmaschinen. Hierzu wurde eine Umfrage durchgeführt, in die Haushalte einbezogen wurden, die sich aktiv für den Pilotversuch interessiert hatten (Opt-in-Gruppe), und solchen, die dem Einbezug in den Pilotversuch nicht widersprochen hatten (Not-opt-out-Gruppe).

In der Umfrage sagten drei Fünftel der Haushalte, sie seien durch die variablen Tarife motiviert worden, ihre Elektrogeräte soweit möglich in Zeiten mit günstigem Tarif zu betreiben. Eine Verhaltensänderung konnte im Projekt allerdings nur für die motivierten Versuchsteilnehmer (Opt-in-Gruppe) nachgewiesen werden. Übrigens hatten sich nur 15% der angesprochenen Personen aktiv für den Versuch angemeldet, obwohl den Haushalten zugesichert worden war, dass sie durch den Versuch keine Preisnachteile erfahren. Ein Hinweis, dass es nicht einfach ist, Stromkundinnen und -kunden für neue Tarifmodelle zu begeistern.

Anreize kaum wirksam

Ob sich die recht hohe Bereitschaft, Elektrogeräte netzdienlich zu nutzen, auch ausserhalb eines Forschungsprojekts reproduzieren lässt, muss sich noch zeigen. Der finanzielle Vorteil aus der Nutzung günstiger Netznutzungstarife ist nämlich mit 22 bis 28 Fr. pro Jahr gering. Etwas höher sind die Einsparungen bei Haushalten mit Boiler, Wärmepumpen oder E-Auto-Ladestation. Hier führte das automatische Lastmanagement zu Einsparungen von 103 bis 157 Fr. pro Jahr (Bild 3). «Wir müssen uns bewusst sein, dass der

finanzielle Anreiz, der sich aus variablen Netznutzungstarifen ergibt, für die Haushalte recht bescheiden ist», sagt Marina González. «EKZ und andere Stromversorger können netzdienliches Verhalten nur in einem Mass belohnen, das dem wirtschaftlichen Nutzen entspricht, den sie selber aus diesem netzdienlichen Verhalten haben.»

Diese Einschätzung wird gestützt durch die Ergebnisse der Umfrage, die nach Durchführung des Pilotversuchs bei den teilnehmenden Haushalten durchgeführt wurde. Die erzielten Ersparnisse wurden mehrheitlich als zu gering beurteilt. Trotzdem waren rund drei Viertel der Personen damit einverstanden, dass die Stromversorger netzdienliche Stromtarife einführen. Wenn dies geschieht, sind Kommunikationsmassnahmen unabdingbar. Denn nur für die Hälfte der Befragten waren die im Projekt eingesetzten Stromtarife verständlich.

Dynamische Tarife ab 2026

EKZ wird 2026 dynamische Tarife einführen. Interessant ist dieser Schritt für Stromkunden, die über ein Energiemanagementsystem verfügen, das für die indirekte Laststeuerung eingesetzt werden kann. Das ist zum Beispiel für viele Kunden mit eigener Solaranlage der Fall. Parallel dazu

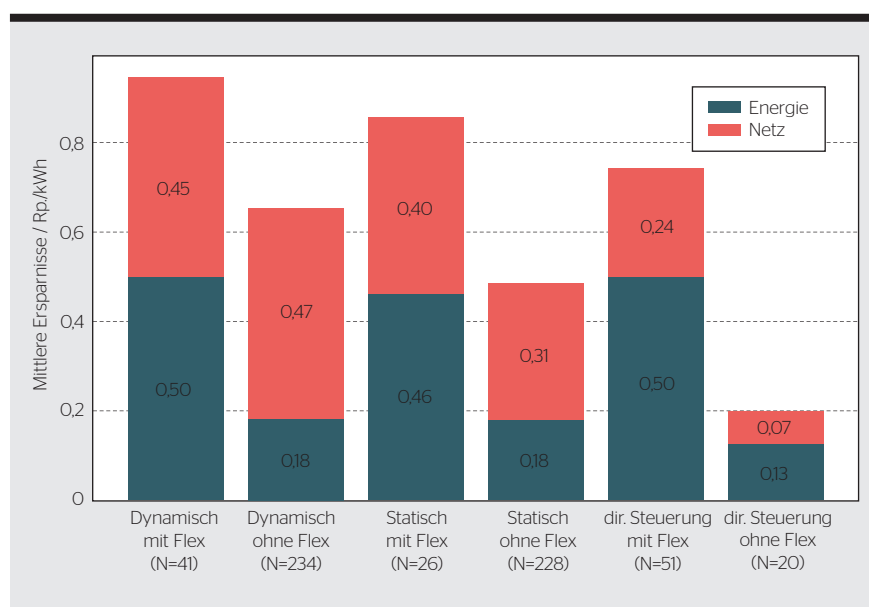


Bild 3 Einsparungen durch dynamische und statische Tarife sowie durch intelligentes direktes Lastmanagement. «Mit Flex» bedeutet, dass Lasten automatisch gesteuert wurden. Bei «ohne Flex» wurden Elektrogeräte manuell gesteuert.

arbeitet EKZ an der Ablösung der Rundsteuerung durch ein intelligentes Lastmanagement, um das direkte Lastmanagement in Zukunft weiter zu verbessern. «Wir wollen mit vertretbaren Investitionen einen maximalen Effekt erzielen, um unnötigen Netzausbau vermeiden zu können», sagt Marina González.

Literatur

→ Der Schlussbericht zum Projekt ist abrufbar unter www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=49238

Autor

Dr. **Benedikt Vogel** ist Wissenschaftsjournalist.

→ Dr. Vogel Kommunikation, DE-10437 Berlin

→ vogel@vogel-komm.ch

Michael Moser (michael.moser@bfe.admin.ch), Leiter des BFE-Forschungsprogramms Elektrizität, erteilt Auskünfte zum Projekt.

RÉSUMÉ

Créer des incitations et soulager le réseau de distribution

Projet pilote

Une extension onéreuse du réseau électrique peut être évitée si les pics de charge des réseaux de distribution sont maintenus à un niveau aussi bas que possible. Un projet pilote mené par EKZ (Elektrizitätswerke des Kantons Zürich) et l'ETH Zurich dans la commune de Winkel a examiné dans quelles mesures les incitations financières ou une gestion directe et intelligente de la charge pouvaient réduire les pics de consommation dans les réseaux de distribution.

Dans le cadre de ce projet, trois nouvelles méthodes de gestion de la charge ont été testées pour les chauffe-eau, les pompes à chaleur et les voitures électriques: la gestion directe de la charge (par exemple, lorsque le fournisseur d'énergie interrompt le fonctionnement des chauffe-eau à distance), la gestion indirecte de la charge via des tarifs fixes et la gestion indirecte de la charge via des tarifs dynamiques.

L'une des principales conclusions de l'étude: ces trois méthodes permettent de réduire les pics de charge des réseaux de distribution pendant les mois d'été. Celle repo-

sant sur les tarifs dynamiques s'est avérée la plus efficace: elle a permis de réduire les pics quotidiens de 8 % en moyenne (contre 6 % pour la gestion directe de la charge et 5 % pour les tarifs fixes). Les pourcentages se réfèrent à la réduction des pics par rapport à la puissance nominale totale de tous les chauffe-eau utilisés en tant que charges flexibles.

Un autre résultat de l'étude: les tarifs variables pour l'utilisation du réseau exercent également un effet dans les ménages qui ne disposent pas de charges contrôlables à distance (chauffe-eau, pompes à chaleur, voitures électriques), mais qui possèdent des appareils tels qu'un lave-vaisselle ou un lave-linge. Une enquête a été menée auprès des ménages qui s'étaient intéressés activement au projet pilote (groupe « opt-in ») et de ceux qui ne s'étaient pas opposés à leur participation au projet (groupe « not-opt-out »): trois cinquièmes de ces ménages ont déclaré que les tarifs variables les avaient motivés à utiliser leurs appareils autant que possible pendant les périodes où les tarifs sont les plus avantageux.