

ANREIZE SCHAFFEN, VERTEILNETZ ENTLASTEN

Der Ausbau von Photovoltaik und Elektromobilität erfordert robuste Stromverteilnetze. Teurer Netzausbau lässt sich vermeiden, wenn Spitzenbelastungen der Verteilnetze als Folge hoher Verbräuche oder dezentraler Einspeisung möglichst gering gehalten werden. Ein Pilotprojekt der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ) und der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Zürich in der Gemeinde Winkel (ZH) hat beispielhaft untersucht, wie sich Stromspitzen in Verteilnetzen mit Hilfe finanzieller Anreize oder einem intelligenten direkten Lastmanagement brechen lassen.



Wenn es gelingt, Last- und Einspeisespitzen im Verteilnetz zu glätten, kann der Netzausbau verringert oder zumindest verzögert werden. Foto: EKZ



Die Gemeinde Winkel im ländlichen Raum nördlich des Flughafens Zürich-Kloten war der Schauplatz des Pilotprojekts OrtsNetz. Foto: Saskia Girsberger

Wie andere Stromversorger ist auch EKZ mit einem rasanten Ausbau der Photovoltaik (PV) 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, wie das typischerweise abends der Fall ist (Lastspitzen).

Spitzen im Verteilnetz 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. EKZ ist wie andere Stromversorger daran interessiert, dass diese Kosten nicht aus dem Ruder laufen und der Netzausbau minimiert werden kann. Vor dem 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 innovativem Lastmanagement durch. Die Studie wurde aus dem P+D-Programm des BFE mitfinanziert.

Gemeinhin werden von einer Trafostation mehrere Hundert Haushalte über das Niederspannungsnetz 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 «netzdienlich» über den Tag verteilt wird.

Lastmanagement mittels finanzieller Anreize

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 PV-Strom produziert wird. Dieses Lastmanagement obliegt dem Stromversorger oder dem Stromkonsumenten, meist unterstützt durch «kluge» Steuerungstechnik. Auf diesem Weg können Überlastungen der Transformatoren und des Netzes vermieden werden, was Ausbauten überflüssig macht oder zumindest bis zum nächsten ordentlichen Erneuerungszyklus verzögert.

Im Pilotprojekt wurden drei neue Wege für dieses Lastmanagement für Boiler, Wärmepumpen und E-Autos erprobt:

• **Direktes Lastmanagement:** Hier steuert EKZ den Betrieb von Boiler, Wärmepumpen und den Ladevorgang von E-Autos so, dass die Belastung des Verteilnetzes über den Tag hinweg möglichst gleichmässig verteilt wird. Dieser Ansatz wird seit langem mit der Rundsteuerung praktiziert. Neu ist hingegen, dass die einzelnen Geräte einschliesslich des Ladevorgangs von Elektroautos individuell ein- und ausgeschaltet werden können, und dies dynamisch, also abhängig von Auslastungsprognosen für das lokale Netz.

• **Indirektes Lastmanagement/statische Tarife:** Hier setzt EKZ einen finanziellen Anreiz, der die Stromkunden dazu motivieren soll, ihre Elektrogeräte netzdienlich zu betreiben. Als Anreiz dienen Tarife, die vorgängig festgelegt wurden und nach Tageszeit unterschiedlich hoch sind.

• **Indirektes Lastmanagement/dynamische Tarife:** Auch hier schafft EKZ einen finanziellen Anreiz. In diesem Fall be-

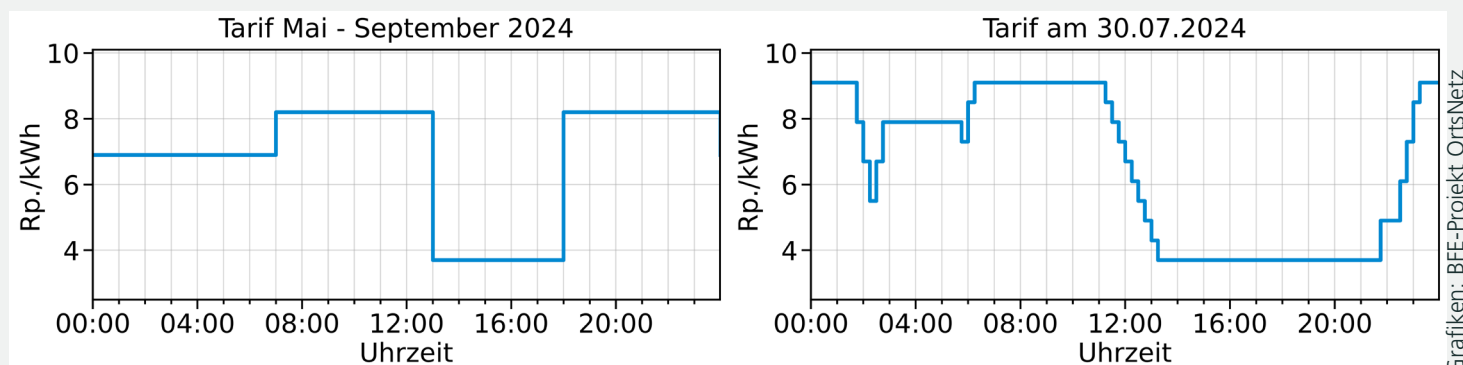
steht der Anreiz aus Tarifen, die sehr kurzfristig festgelegt werden und sich im Tagesverlauf ständig verändern.

Das indirekte Lastmanagement mittels variabler Tarife schafft für die Stromkunden einen Anreiz, ihre Elektrogeräte so zu benutzen, dass unter dem Strich die Belastung des Verteilnetzes minimiert wird. Diese Methode erinnert an die seit langem praktizierten Hoch- und Niedertarife, weicht aber in wichtigen Punkten davon ab (vgl. Textbox unten).

Stromspitzen wirksam reduziert

Die drei innovativen Formen des Lastmanagements wurden von Oktober 2023 bis Dezember 2024 in der Gemeinde Winkel an je einer Trafostation und den angeschlossenen Haushalten getestet. Um die direkte und indirekte Laststeuerung technisch zu ermöglichen, wurden von den gut 600

STATISCHE UND DYNAMISCHE TARIFE



Stromkundinnen und -kunden von EKZ bezahlen für die Kilowattstunde 28,15 Rp. (Hochtarif) bzw. 26,85 Rp. (Niedertarif). Teil davon ist ein Tarif für die Netznutzung, der unabhängig von der Tageszeit ist und aktuell 7,78 Rp. beträgt.

Dieser Netznutzungstarif wurde im Pilotprojekt eingesetzt, um einen finanziellen Anreiz für ein netzdienliches Verbrauchsverhalten zu schaffen und damit EKZ zu ermöglichen, Stromspitzen des Netzes zu glätten. Hierzu wurden zwei Arten von variablen Tarifen getestet:

• **Statische Tarife:** Hier legt EKZ einen Netznutzungstarif fest, der sich über den Tagesverlauf ändert, und zwar einen für Sommertage und einen für Wintertage. Die Grafik links zeigt den Tarif für Sommertage: Zwischen 13 und 18 Uhr ist er rund 5 Rp. günstiger als am Vormittag und in den Abendstunden. Der Tarif schafft somit einen Anreiz, Strom in den Nachmittagsstunden zu verbrauchen, wenn oft Solarstrom zu Verfügung steht. Zu Beginn des Fensters mit dem günstigen Tarif ist der höchste Lastanstieg zu erwarten. Daher beginnt dieses Tariffenster zur Zeit mit der höchsten PV-Einspeisung.

• **Dynamische Tarife:** Auch hier schwankt der Netznutzungstarif im Tagesverlauf, aber jeden Tag anders. EKZ legt die Höhe des Tarifs kontinuierlich fest, in Abhängigkeit von Faktoren wie aktuelle Trafoauslastung und Wetterdaten. Der Tarif wird dabei von einer Künstlichen Intelligenz mit einem Vorlauf von ca. 5 Minuten für die Dauer von 15 Minuten errechnet. Das heisst, die Stromkunden erfahren z.B. um 17:40 Uhr, wie hoch der Tarif für die Netznutzung um 17:45 Uhr sein wird. Der Netznutzungstarif variiert im Bereich zwischen ca. 4 und 10 Rp./kWh (vgl. Grafik rechts).

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 tatsächlich mindestens einmal gesteuert werden. Alle anderen Elektrogeräte in den gut 600 Haushalten wurden nicht automatisch gesteuert, aber die Bewohner waren aufgefordert, die Geräte in Zeiten mit niedrigem Netznutzungstarif zu betreiben und auf diesem Weg Geld zu sparen.

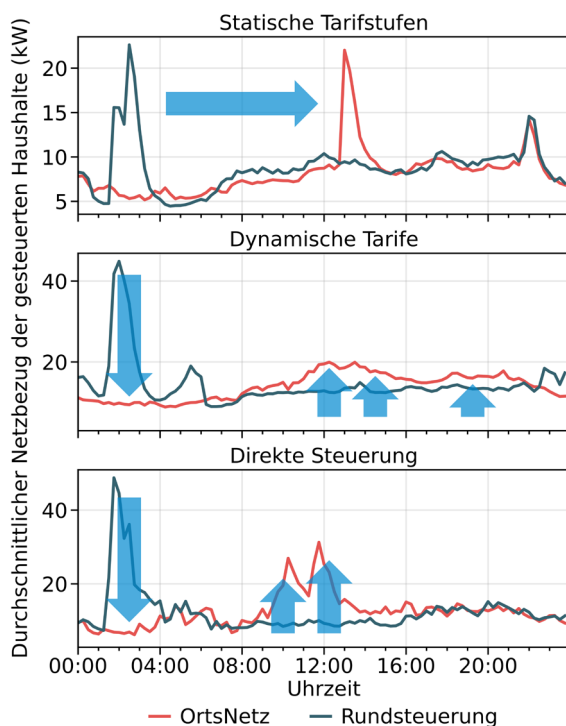
Ein Hauptergebnis der Studie: Mit den drei untersuchten Arten des Lastmanagements lassen sich Einspeisespitzen von PV-Strom in den Sommermonaten vermindern. Am geeignetsten waren dynamische Tarife: Sie senkten die täglichen Spitzen im Mittel um 8 % (gegenüber 6 % durch direktes Lastmanagement und 5 % 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 ein-

bezogenen 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).

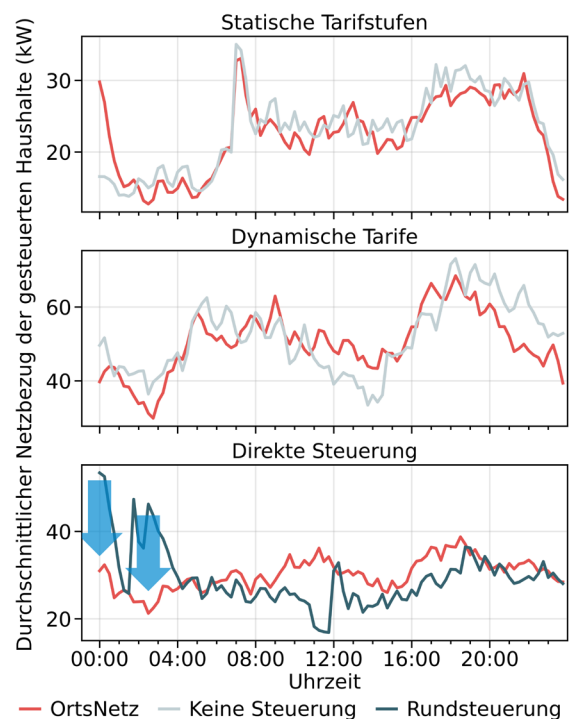
Marina González, Leiterin New Technology, Data & AI bei EKZ, wertet das Ergebnis des 15-monatigen Feldtests positiv: «Auch wenn sich die Stromversorger eine grössere Senkung wünschen würden, zeigt der Pilot doch, dass alle dynamischen Ansätze Wirkung zeigen und das Potenzial haben, Netzverstärkungen 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



Stromverbrauch der Haushalte der Gemeinde Winkel, bei denen ein Elektroboiler und/oder eine Wärmepumpe im Pilotprojekt mit einem Lastschaltgerät automatisch ein- und ausgeschaltet wurde. In den Sommermonaten, die hier dargestellt sind, kann mit dynamischen Tarifen der Bezug in den Mittagsstunden mit hoher PV-Leistung wie gewünscht erhöht werden. Der statische Tarif wirkt nicht optimal, weil der Strombezug am Mittag mit hoher Gleichzeitigkeit erfolgt. Grafik: BFE-Projekt OrtsNetz



Die Grafik zeigt den Stromverbrauch der Haushalte in Winkel, bei denen ein Elektroboiler und/oder eine Wärmepumpe im Pilotprojekt mit einem Lastschaltgerät automatisch ein- und ausgeschaltet wurde, für die Wintermonate. Hier lässt sich mit den drei neuartigen Formen von Lastmanagement, die im Projekt OrtsNetz erprobt wurden, kaum Nutzen generieren. Foto: BFE-Projekt OrtsNetz

Steuerung ist keineswegs trivial, man muss dafür verschiedene Annahmen treffen, und da kann man falsch liegen.» Im Pilotprojekt erfolgte die direkte Steuerung, aber 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 Steuermöglichkeiten 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.»

Zwei Fünftel 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 tatsächliche Verhaltensänderung konnte im Projekt allerdings nur für die motivierten Versuchsteilnehmer (Opt-in-Gruppe) auch tatsächlich 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.

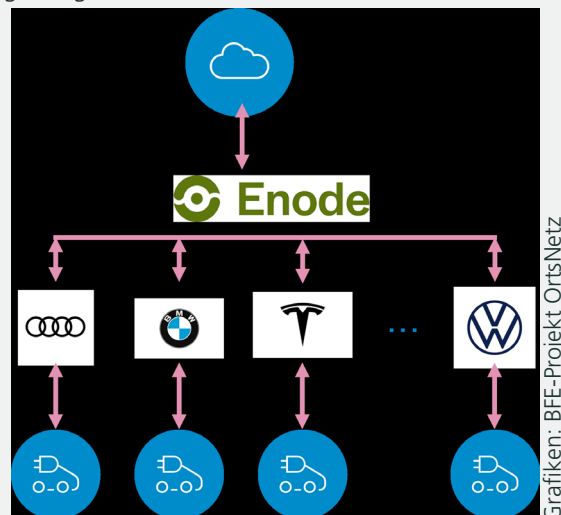
Anreize fallen wenig ins Gewicht

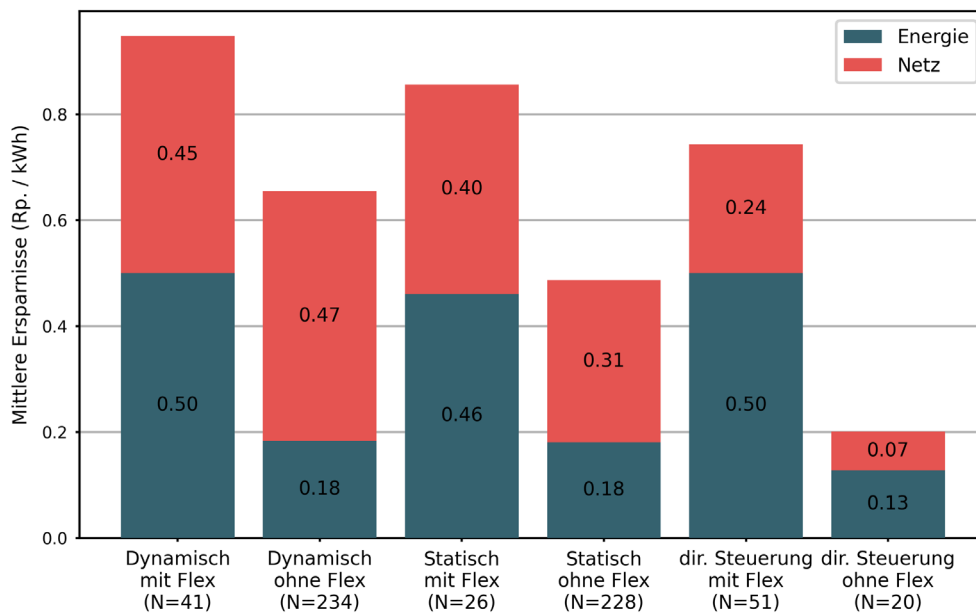
Ob sich die recht hohe Bereitschaft, Elektrogeräte «netzdien-

CLOUD-LÖSUNG FÜR LADEVORGÄNGE VON E-AUTOS

Mit variablen Netznutzungstarifen können die Stromkunden Geld sparen, wenn sie ihre Elektrogeräte zur «richtigen» Zeit einschalten. Im Pilotprojekt konnten die Stromkunden die jeweils geltenden Tarife über ein Kundenportal abrufen und sich dann zum Beispiel dafür entscheiden, die Waschmaschine zu einem Zeitpunkt mit günstigem Tarif einzuschalten. Dies kostet viel Aufmerksamkeit und ist insbesondere im Fall von dynamischen Tarifen im Alltag kaum praktikabel. Den teilnehmenden Haushalten wurden daher technische Lösungen zur Verfügung gestellt, die Boiler, Wärmepumpen und Ladevorgänge bei Elektroautos automatisch steuern – und dies so, dass die Bedürfnisse der Haushalte optimal berücksichtigt wurden und möglichst tiefe Stromkosten resultierten.

Im Fall von Boilern und Wärmepumpen lief die Steuerung über ein Lastschaltgerät, das in den Pilothaushalten eingebaut wurde. Die Steuerung der E-Auto-Ladevorgänge erfolgte über eine Lösung, die auf die Cloud-Schnittstellen der Autohersteller zugreift (Enode-Plattform). Die für die Steuerung notwendigen Algorithmen wurden an der ETH Zürich entwickelt. Dank der Cloud-Lösung konnten für E-Autos auch Informationen bezüglich dem Einsteck- und Ladezustand genutzt werden.





Einsparungen durch dynamische Tarife (2 Säulen links), statische Tarife (2 Säulen Mitte) und intelligentes direktes Lastmanagement (2 Säulen rechts). «Mit Flex» bedeutet, dass Elektroboiler, Wärmepumpen und Elektroautos automatisch gesteuert wurden. «ohne Flex» heisst, dass Elektrogeräte durch die Haushalte manuell gesteuert wurden. Grafik: BFE-Projekt OrtsNetz

lich» zu nutzen, auch ausserhalb der speziellen Umstände eines Forschungsprojekts reproduzieren lässt, muss sich noch zeigen. Der finanzielle Vorteil, der sich aus der Nutzung günstiger Netznutzungstarife ergibt, 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. «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. Das heisst, dass Stromkunden neu die Möglichkeit haben, diese Tarife in Anspruch zu nehmen, wenn sie das wollen. 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 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.

➤ Weitere **Informationen** zum Projekt «OrtsNetz» sind abrufbar unter <https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=49238>.

➤ **Auskünfte** erteilt Michael Moser, Leiter des BFE-Forschungsprogramms Elektrizität, erreichbar unter: michael.moser@bfe.admin.ch.

➤ Weitere **Fachbeiträge** über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Elektrizität finden Sie unter: www.bfe.admin.ch/ec-strom.