



Das Stromnetz für die Energiewende neu denken

Sechs Säulen zum Aufbau des Stromnetzes von morgen | Elektroautos, Wärmepumpen und PV-Anlagen sind die drei wichtigsten Technologien, die eine schnelle Energiewende in der Schweiz ermöglichen. Für deren sichere und kostengünstige Integration in das Stromnetz hat Groupe E eine auf sechs Säulen beruhende Smart-Grid-Strategie entwickelt.

PETER CUONY, ALAIN RUFFIEUX

Die CO₂-Neutralität ist ein Ziel der Schweiz, der EU und einer Mehrheit der Länder weltweit. Die Schweiz legt in ihrer Klimastrategie [1] detailliert dar, wie sie ihre Nettoemissionen bis 2050 auf null reduzieren will, und beschreibt das angestrebte Energiesystem in ihren Energieperspektiven 2050+ [2]. Die Energiekrise in Europa im Herbst 2022, der rasante technologische und industrielle Fortschritt in China und die zunehmende Zahl von Katastrophen im Zusammen-

hang mit dem Klimawandel haben die Energiewende in den letzten Jahren stark beschleunigt, sodass viele der gesetzten Ziele wahrscheinlich früher als erwartet erreicht werden können.

Mit der zunehmenden Verbreitung von PV-Anlagen, Elektroautos und Wärmepumpen sind die Veränderungen auch in der Schweiz unübersehbar. Sie kündigen den Beginn einer neuen Ära der Elektrifizierung an, in welcher der nationale Stromverbrauch bis 2050 um etwa 30% steigen wird, der Gesamt-

energieverbrauch und die Abhängigkeit vom Ausland jedoch massiv sinken werden [2].

Herausforderungen für das Stromnetz

Die Schweizer Stromnetze wurden im letzten Jahrhundert für einen relativ konstanten Stromverbrauch zwischen 5 und 10 GW gebaut, der im Winter und tagsüber etwas höher und im Sommer und in der Nacht etwas niedriger ist. Mit der zunehmenden Verbreitung von

PV-Anlagen und der Elektrifizierung von Mobilität und Heizung, wie in den Energieperspektiven 2050+ vorgesehen, ändern sich die Stromflüsse jedoch schnell und werden variabler. Es gibt heute unter Experten weder einen Konsens darüber, wie die Vielzahl an PV-Anlagen mit einer Gesamtnennleistung von 40 GW ins Netz integriert werden soll, noch wie die zusätzliche Leistung von 10 GW¹⁾ für die Versorgung von Wärmepumpen und Elektroautos vom Stromnetz bereitgestellt werden soll.

Die Herausforderung der Integration dieser Technologien ist besonders gross in ländlichen und vorstädtischen Netzen, wie sie Groupe E in den Kantonen Freiburg, Neuenburg und Waadt betreibt. Dies, weil das PV-Potenzial und der Bedarf an individueller Mobilität und Heizung für Einfamilienhäuser in diesen Regionen grösser sind als in urbanen Zentren. Für das Stromnetz von Groupe E, das in den letzten Jahrzehnten für eine Höchstlast von rund 500 MW gebaut wurde, besteht die Herausforderung darin, PV-Anlagen mit einer kumulierten Nennleistung von 2200 MW ins Netz zu integrieren sowie 350 MW zusätzliche Leistung für das Laden von Elektrofahrzeugen und 350 MW zusätzliche Leistung für neue Wärmepumpen bereitzustellen.

Sechs Säulen für den Aufbau des Stromnetzes von morgen

Diese Herausforderungen können theoretisch allein durch die Verstärkung und den Ausbau des Stromnetzes gelöst werden. Mit diesem Ansatz müssten die Verteilnetzbetreiber (VNB) aber sehr viele bestehende Stromleitungen und Transformatoren durch neue ersetzen, die höhere Leistungsflüsse ertragen. Da die VNB im Rahmen eines regulierten und überwachten Monopols tätig sind, würde eine solche investitionsintensive Strategie einen starken Anstieg der Netznutzungsgebühren zulasten der Netznutzer verursachen. Abgesehen von den hohen wirtschaftlichen Kosten dieses Ansatzes wäre es nicht möglich, den Ausbau schnell genug zu realisieren, und die Energiewende würde in vielen Regionen wegen des Ausbaus des Stromnetzes verzögert.

Groupe E hat es sich zur Aufgabe gemacht, die Energiewende zu beschleunigen und gleichzeitig die hohe

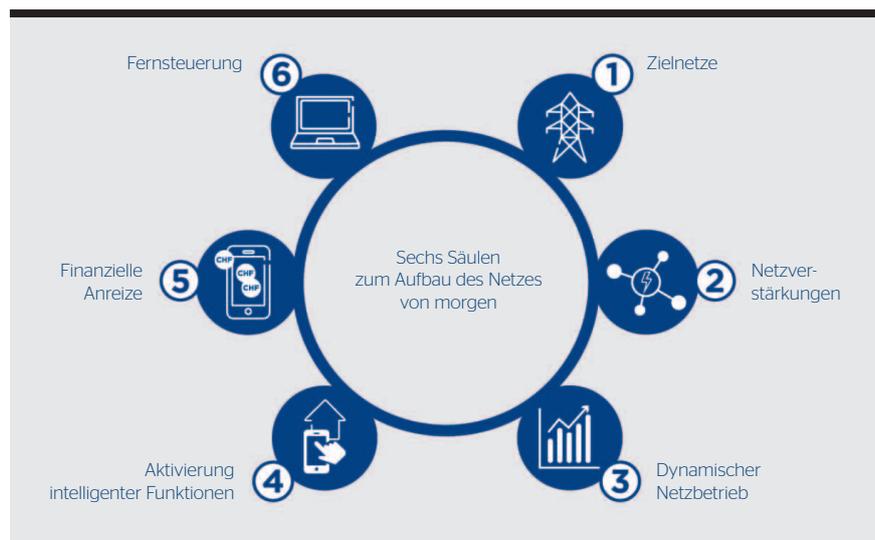


Bild 1 Die sechs Säulen der Smart-Grid-Strategie von Groupe E für die Anpassung des Stromnetzes an die Herausforderungen der neuen Energiewelt.

Qualität der Stromversorgung weiterhin zu gewährleisten, bei möglichst niedrigen Kosten für die Netzbenutzer. Um dieses Ziel zu erreichen, hat Groupe E eine Smart-Grid-Strategie entwickelt und mit deren Umsetzung begonnen. Die Strategie beruht auf sechs Säulen (Bild 1), die im Folgenden einzeln beschrieben werden:

- Definition von Zielnetzen, die den Anforderungen der Schweizer Energiestrategie gerecht werden;
- Verstärkung des Stromnetzes basierend auf Messungen und Risikoanalysen;
- dynamische Spannungsregulierung im Stromnetz;
- Aktivierung von intelligenten Funktionen in den Geräten der Kunden;
- finanzielle Anreize für eine effiziente Nutzung des Stromnetzes;
- Fernsteuerung der flexiblen Geräte beim Kunden.

Diese sechs Säulen werden im Folgenden einzeln beschrieben.

Definition von Zielnetzen

Das Stromnetz besteht hauptsächlich aus Freileitungen, Erdkabeln und Transformatoren, die verschiedene Spannungsebenen miteinander verbinden. Die Lebensdauer der Transformatoren beträgt 40 bis 60 Jahre, diejenige der Kabel und Leitungen 60 bis 80 Jahre. Das heutige Stromnetz wurde hauptsächlich in der letzten Phase der Elektrifizierung zwischen 1945 und 1970 gebaut und seither punktuell erweitert und erneuert. Da die Strom-

flüsse in den letzten Jahrzehnten konstant geblieben sind, war die Netzplanung bis vor einigen Jahren einfach: Die VNB wussten, was vom Netz erwartet wurde. Die Netzelemente, die heute installiert werden, müssen jedoch für die nächsten 40 bis 80 Jahre dienen, weit über die laufende Energiewende hinaus. Angesichts der bevorstehenden Veränderungen ist es deshalb sehr wichtig, heute Annahmen über die maximal zu erwartenden Stromflüsse während der Lebensdauer der neuen Leitungen, Kabel oder Transformatoren zu treffen. Andernfalls ist es wahrscheinlich, dass ein neues Netzelement bereits nach wenigen Jahren der Nutzung ersetzt werden muss, was hohe Kosten verursachen würde.

Die Lösung liegt in der Definition von Zielnetzen auf der Nieder- und Mittelspannungsebene unter Einbezug der Szenarien der Energieperspektiven 2050+. Das Herunterbrechen der Szenarien auf die verschiedenen Spannungsebenen ist jedoch komplex und basiert auf einer Vielzahl von Kriterien wie der Entwicklung der Raumplanung und des Verbraucherverhaltens sowie den Potenzialen in den Bereichen Solarproduktion, Heizungen mit Wärmepumpen und Elektromobilität. Die Zielnetze müssen genügend präzise sein, dass sie eine langfristige Vision der Netzarchitektur ermöglichen und gleichzeitig die Möglichkeit bieten, von externen Akteuren ausgelöste Tätigkeiten im Zusammenhang mit anderen Infrastrukturarbeiten zu nutzen.

Die Umsetzung dieses neuen Ansatzes für Nieder- und Mittelspannungsnetze stellt eine grosse Herausforderung dar. Die Menge der zu verarbeitenden Daten sowie die Vielzahl der Varianten für die zu simulierenden Netzarchitekturen erfordern die Einführung neuer IT-Tools und den Erwerb neuer Kompetenzen. Die Entwicklung neuer Methoden zur Simulation von Netzen für alle Spannungsebenen mit langfristigen Szenarien ist aber unerlässlich, um Zielnetze zu definieren, die es ermöglichen, die richtigen Investitionsentscheidungen zu treffen.

Verstärkung des Stromnetzes

Bei den notwendigen Arbeiten an den Stromnetzen wird zwischen Erneuerung, Verstärkung und Erweiterung des Netzes unterschieden. Bei der Erneuerung wird ein Netzelement (Leitung, Kabel oder Transformator), der das Ende seiner Lebensdauer erreicht hat, durch ein neues Element mit denselben Eigenschaften ersetzt, bei der Verstärkung wird ein Element durch eines mit höherer Kapazität ersetzt, während bei der Erweiterung neue Elemente in das Verteilnetz eingefügt werden. Idealerweise werden Verstärkungen und Erweiterungen zum Zeitpunkt der Erneuerung durchgeführt. Doch bei nicht vorhersehbaren Veränderungen der Stromflüsse ist es nicht ungewöhnlich, dass Netzelemente ersetzt werden müssen, die noch nicht das Ende ihrer technischen Lebensdauer erreicht haben und aus buchhalterischer Sicht noch nicht abgeschrieben sind. Der Ersatz von Netzelementen vor dem Ende ihrer Lebensdauer führt zu ausserordentlichen Abschreibungen und kann die Netzkosten stark erhöhen.

In der Vergangenheit berechneten die VNB den Zeitpunkt, in welchem ein Netzelement – aufgrund neu angeschlossener Verbraucher oder Erzeuger – ausgetauscht werden musste, mit Hilfe von Faustregeln und Worst-Case-Szenarien, die für das gesamte Netz galten. Angesichts des Ausmasses der Veränderungen der Stromflüsse ist dieser Ansatz heute ineffizient, da die für alle Netzelemente gültigen Worst-Case-Szenarien zumindest für die meisten Netzelemente niemals eintreten können. Um nur die wirklich nöti-

gen Netzverstärkungen vorzunehmen und um falsche Investitionsentscheidungen zu vermeiden, müssen sich die VNB stärker an den Messungen der relevanten Stromflüsse orientieren.

Dazu nutzt Groupe E die Daten der intelligenten Stromzähler und die Daten der Netztopologie, um eine Lastkurve für jedes Netzelement zu berechnen und festzustellen, ob eine Verstärkung tatsächlich notwendig ist. Darüber hinaus wird der Austausch eines Netzelements durch eine Risikoanalyse ausgelöst, bei der technische und finanzielle Aspekte berücksichtigt werden, um die beste Entscheidung aus technischer und wirtschaftlicher Sicht zu treffen. Groupe E ist seit mehreren Jahren für das Asset Management nach ISO 55001 zertifiziert und hat in ihren Asset-Management-Grundsätzen die in den folgenden Abschnitten beschriebenen «intelligenten» Säulen integriert, mit denen die nötigen Verstärkungen und Erweiterungen des Netzes stark reduziert werden können.

Dynamischer Betrieb des Stromnetzes

Um ein sicheres und leistungsfähiges Netz zu gewährleisten, müssen die VNB dafür sorgen, dass die nominalen Stromflüsse für die einzelnen Netzelemente nicht überschritten werden und dass die Spannung beim Verbraucher im zulässigen Bereich bleibt ($230\text{ V} \pm 10\%$). Diese Aufrechterhaltung der Spannung stellt heute die grösste Herausforderung dar, insbesondere in ländlichen Netzen mit vielen PV-Einspeisungen. Um die Spannungsschwankungen zu begrenzen, können die VNB spezielle Transformatoren einsetzen, die die Spannung dynamisch in Abhängigkeit vom fließenden Strom regeln.

Groupe E verwendet seit mehreren Jahren solche regelbaren Ortsnetztransformatoren (Ront) zur Stabilisierung der Niederspannung bei hohen PV-Einspeisungen und betreibt heute mehr als 30 solcher Ront mit U(P)-Kurven. Groupe E hat auch die erste dynamische Regelung in einem Umspannwerk auf Netzebene 4 zur Stabilisierung der Mittelspannung eingeführt [3] und beabsichtigt, diese Technologie in den kommenden Jahren für die meisten Mittelspannungsnetze einzusetzen.

Aktivierung von intelligenten Funktionen bei den Kunden

Während Verbrauchergeräte in der Vergangenheit hauptsächlich aus einfachen elektrischen Widerständen bestanden, sind die neuen Geräte, die Strom verbrauchen und produzieren, mit Leistungselektronik, Messsystemen und Rechenprozessoren ausgestattet. PV-Wechselrichter, Wechsel- und Gleichrichter für Batterien von Elektroautos oder Wärmepumpen sind «intelligente» Geräte: Sie können so parametrisiert werden, dass sie sich netzfreundlich verhalten und dazu beitragen, das Stromsystem effizienter und widerstandsfähiger zu machen.

Dank der intelligenten Funktionen Q(U) und P(U), die in den PV-Wechselrichtern aktiviert sind [4], kann Groupe E bereits heute auf Netzverstärkungen verzichten, die ansonsten notwendig gewesen wären. Bei der Planung von Zielnetzen kann Groupe E dank dieser Funktionen Ausbauten in zweistelliger Millionenhöhe vermeiden. Die Parametrisierung durch den Installateur ist jedoch noch schwierig und erfordert eine manuelle Konfiguration jedes einzelnen Geräts. Eine Harmonisierung der intelligenten Funktionen in der Schweiz würde es den Herstellern dieser Geräte ermöglichen, diese Funktionen standardmässig für die Schweiz zu aktivieren, was die Umsetzung erheblich erleichtern würde.

Was die Nutzung solcher Funktionen für das Laden von Autos oder für Wärmepumpen betrifft, so sind auf internationaler Ebene Entwicklungen und Standardisierungsbemühungen im Gange, wie die neue ISO-Norm 15118-20 zeigt, die die Parametrisierung von Q(U) und P(U) auch für Schnellladestationen für Elektroautos vorsieht. Für Heimladestationen und Wärmepumpen sind die Standardisierungsarbeiten auf internationaler Ebene jedoch noch nicht genügend fortgeschritten.

Finanzielle Anreize für eine effiziente Nutzung des Netzes

Wärmepumpen und Ladestationen für Elektroautos sind sogenannte «flexible» Verbraucher. Ihr Stromverbrauch kann zeitlich verschoben werden, ohne dass dadurch der Komfort des Nutzers eingeschränkt wird. Diese Flexibilität erhöht die Leistungsfähigkeit des Stromnetzes, wenn sich die Geräte während der Spitzenlastzeiten im

Stromnetz abschalten und etwas später Strom verbrauchen, wenn das Stromnetz über ausreichend Kapazität verfügt.

Um diese Flexibilität zu aktivieren, können die VNB die Geräte direkt steuern oder finanzielle Anreize schaffen, um die Kunden zu motivieren, ihre Geräte selbst zu steuern. Ein bekannter finanzieller Anreiz in der Schweiz ist der Doppeltarif, der im letzten Jahrhundert eingeführt wurde, um den nächtlichen Verbrauch von überschüssigem Atomstrom attraktiver zu machen. Der Hochtarif gilt grundsätzlich in denjenigen Stunden, in denen das Stromnetz am stärksten belastet ist, und der Niedertarif dann, wenn das Netz am wenigsten belastet ist.

Mit rund 500 MVA installierter PV-Leistung im Netz von Groupe E ist die Netzbelastung nun aber regelmässig an sonnigen Nachmittagen am niedrigsten, und dies zu einem Zeitpunkt, an dem das Netz immer häufiger in Situationen gerät, in denen ein Überschuss an erneuerbarem Strom besteht und das Verteilnetz von Groupe E Solarüberschüsse in das Übertragungsnetz zurückspeist. In diesen Situationen schafft der hohe Bezugstarif beim Kunden falsche Anreize, die korrigiert werden müssen. Groupe E plant, die Zeitfenster des Doppeltarifs so anzupassen, dass der Hochtarif morgens und abends und der Niedertarif nachmittags und nachts angewendet wird.

Der Doppeltarif ist leicht verständlich und richtet sich an den Verbraucher als Mensch. Immer mehr Kunden entscheiden sich jedoch dafür, die Optimierung ihrer flexiblen Geräte mit einem Energiemanagementsystem zu automatisieren. Für Kunden, die mit solchen Systemen ausgestattet sind, bietet Groupe E seit Anfang 2024 einen dynamischen Tarif an, dessen Strombezugspreise am Vortag für den nächsten Tag angekündigt werden und die sich im Laufe des Tages alle 15 Minuten ändern [5]. Diese Art von Tarif ermöglicht es automatisierten flexiblen Geräten, jeden Tag zu dem für das Stromnetz günstigsten Zeitpunkt Strom zu beziehen und gleichzeitig die Kosten für den Kunden zu senken.

Es gibt jedoch noch ein ungelöstes Problem bei den finanziellen Anreizen, nämlich der im Tagesverlauf konstante Tarif für die Einspeisung von überschüssigem Solarstrom. Den Eigen-

erzeugern fehlen Anreize, die Rückspeisung von Strom in das Netz zu optimieren, um die Rückspeisespitzen zu reduzieren, die typischerweise am Nachmittag gegen 14 Uhr auftreten. Ähnlich wie bei den variablen Tarifen für den Verbrauch wäre eine gute Lösung für dieses Problem die Anwendung zeitlich variabler Einspeisetarife mit einem niedrigen Einspeisetarif am frühen Nachmittag, wenn die grössten Mengen an überschüssigem Strom in das Netz eingespeist werden.

Fernsteuerung von flexiblen Geräten bei Kunden

Zusätzlich zu den finanziellen Anreizen können die VNB die flexiblen Geräte der Kunden mit einem intelligenten Steuer- und Regelsystem direkt steuern. Die direkte Steuerung von Kundenanlagen ist in der Schweiz seit den 1950er-Jahren üblich mit den heute teilweise immer noch aktiven «Rundsteuerungssystemen». Diese Systeme steuern elektrische Boiler, damit diese nachts das Warmwasser produzieren, und unterbrechen elektrische Heizungen und Wärmepumpen zur Mittagszeit.

Groupe E hat im Rahmen der Einführung von intelligenten Zählern mit dem Ersatz der Rundsteuerung begonnen. Das neue Steuersystem setzt die Schaltkontakte im Smart Meter ein und ermöglicht eine Optimierung der Netzauslastung durch die optimierte Steuerung der flexiblen Verbraucher wie Wärmepumpen und Ladestationen.

Grössere flexible Anlagen erfordern ihrerseits leistungsfähigere Fernsteuerungssysteme. Für neue grosse PV-Anlagen verlangt Groupe E beispielsweise die Einrichtung eines Steuerungssystems mit einem sicheren Gateway, das am Standort der Anlage installiert wird, und einem Protokoll gemäss der Norm IEC 60870-5-104, welches die Steuerung von einer Leitzentrale aus ermöglicht.

Fazit

Die Aufgabe der VNB ist es, für ein sicheres, leistungsfähiges und effizientes Netz zu sorgen (StromVG, Art. 8). Die zur Erfüllung dieses Auftrags erforderlichen Tätigkeiten waren über Jahrzehnte hinweg gut etabliert und stabil, doch die Energiewende mit ihren erheblichen Veränderungen der Stromflüsse bringt die gewohnte Arbeitsweise der VNB durcheinander.

Es ist wichtig, dass nicht nur diese, sondern auch die Eigentümer der Verteilnetze (hier sind vor allem Gemeinden oder Kantone gemeint) sich bewusst werden, wie gross die Herausforderungen für das Stromnetz sind, und dass es nicht möglich ist, auf eine Wunderlösung zu warten, die alle Probleme löst.

Um zu verhindern, dass die VNB die Energiewende ausbremsen, müssen die in diesem Artikel genannten vielfältigen und sich ergänzenden Lösungen schnell umgesetzt werden. Nur mit einer Kombination von Lösungen aller sechs Säulen wird es möglich sein, ein Stromnetz aufzubauen, das in der Lage ist, die neuen Technologien der Energiewende zu integrieren und gleichzeitig den Anstieg der Netznutzungsgebühren in akzeptablen Grenzen zu halten. Die für diese neuen Aktivitäten nötigen Kompetenzen sind bei den VNB aber oft nicht vorhanden. Daher ist es unerlässlich, zusätzliche Ressourcen mit neuen Kompetenzen aufzubauen und die Koordination und Zusammenarbeit zwischen den Schweizer VNB zu stärken. Nur so kann die grosse Anzahl verschiedener Verteilnetze eine unterstützende Rolle bei der Umsetzung der Energiewende spielen.

Referenzen

- [1] «Langfristige Klimastrategie 2050», Bundesamt für Umwelt (BAFU). www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/fachinformationen/emissionsverminderung/verminderungsziele/ziel-2050/klimastrategie-2050.html
- [2] «Energieperspektiven 2050+», Bundesamt für Energie (BFE). www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/politik/energieperspektiven-2050-plus.html
- [3] P. Cuony, C. Kaeser, «Spannungshaltung bei hoher Einspeisung», *Electrosuisse Bulletin* 1/2024, S. 26–29, 2024. www.bulletin.ch/de/news-detail/spannungshaltung-bei-hoher-einspeisung.html
- [4] D. Joss, P. Cuony, «PV-Wechselrichter stabilisieren das Netz», *Electrosuisse Bulletin* 4/2023, S. 14–17, 2023. www.bulletin.ch/de/news-detail/pv-wechselrichter-stabilisieren-das-netz.html
- [5] «Vario - Der dynamische Tarif», Groupe E. www.groupe-e.ch/de/energie/elektrizitaet/privatkunden/vario

Autoren

Peter Cuony ist bei Groupe E für die Produkte zur Stromverteilung zuständig.
→ Groupe E SA, 1763 Granges-Paccot
→ peter.cuony@groupe-e.ch

Alain Ruffieux ist bei Groupe E für das Asset Management des Stromnetzes zuständig.
→ alain.ruffieux@groupe-e.ch

¹⁾ Basierend auf den Energieperspektiven 2050+ sowie einer Dimensionierung der Wärmepumpen auf 2000 h Betriebszeit und einer Ladeleistung von 1 kW pro Elektroauto.

Die französische Version dieses Artikels ist im Bulletin Electrosuisse 5/2024 erschienen.