

# INDUSTRIEANLAGEN STABILISIEREN DAS STROMNETZ

Die Bereitstellung von Regelleistung durch Industriebetriebe, Infrastrukturanlagen und Haushalte wurde in den letzten Jahren intensiv erforscht und in verschiedenen Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekten erprobt. Diese Arbeiten tragen nun Früchte: Zementproduzenten, Papierhersteller, Kehrichtverbrennungsanlagen und selbst Spitäler stellen Regelleistung zur Stabilisierung des Stromnetzes bereit – und erzielen damit zusätzliche Einkünfte. Der für neue Akteure geöffnete Markt ist zum Vorteil der Stromkunden.



Wenn im Schweizer Stromnetz zeitweise zuviel oder zuwenig elektrische Energie vorhanden ist, kann der Dispatcher im Swissgrid-Kontrollzentrum Laufenburg telefonisch Regelleistung anfordern, um das Netz zu stabilisieren. Foto: Swissgrid

Alle Anlagen, die elektrischen Strom in grösseren Mengen erzeugen oder verbrauchen, können im Prinzip Regelleistung bereitstellen, also jene Form von Energie, welche die nationale Netzgesellschaft Swissgrid braucht, um das Stromnetz jederzeit im Gleichgewicht zu halten. Früher wurde Regelleistung ausschliesslich von grossen Wasser- und Kernkraftwerken zur Verfügung gestellt. Doch auch Industriebetriebe, Infrastrukturanlagen und selbst einzelne Haushalte können durch geeignete Vorkehrungen Regelleistung bereitstellen. Das Bundesamt für Energie (BFE) hat in den letzten Jahren mehrere Forschungsprojekte unterstützt, die darauf abzielten, dieses schlummernde Potenzial aufzudecken und zu nutzen. Dabei haben Wissenschaftler praxisnah die Bereitstellung von Regelleistung durch Kehrlichtverbrennungsanlagen (KVA), Kläranlagen, Wasserversorgungen, Kühlhäuser, Biogasanlagen oder Wärmepumpen untersucht. Im Mittelpunkt der Projekte stand im Prinzip immer dieselbe Frage: Welche technischen und organisatorischen Massnahmen sind erforderlich, dass solche Anlagen eine elektrische Leistung mit kurzer Reaktionszeit ins Netz einspeisen oder aus dem Netz beziehen können, sobald Swissgrid Regelleistung zur Netzstabilisierung benötigt (vgl. Textbox S. 6). Dabei mussten der Akzeptanz der Betreiber für Eingriffe in ihren Betrieb und Sicherheitsfragen gebührende Aufmerksamkeit geschenkt werden.

### Neue Akteure stellen Regelleistung bereit

Die Erkenntnisse, die diese Projekte hervorbrachten, tragen nun Früchte: «Seit rund zwei Jahren treten mehrere Unternehmen aktiv am Markt auf, die die Regelleistung von verschiedenen Anbietern in einem Pool zusammenfassen und an Swissgrid offerieren», sagt Christoph Imboden, Professor für Produktinnovation und Leiter der Forschungsgruppe Energiewirtschaft an der Hochschule Luzern (HSLU), «da entsteht gerade ein breiterer Markt in der Schweizer Energieversorgung.» Rund ein Dutzend KVA stellen Regelleistung bereit, indem sie für kurze Zeit (Minuten oder Stunden) auf die Verstromung der Wärme aus der Abfallverbrennung verzichten (dadurch wird die Stromeinspeisung ins Netz temporär verringert: *negative* Regelleistung). Die Zementindustrie (z.B. Jura-Cement-Fabriken AG) oder Papierfabriken (z.B. Perlen Papier AG) liefern Regelleistung, indem sie energieintensive Teilprozesse vorübergehend stoppen (das reduziert den Energiebezug aus dem Netz: *positive* Regelleistung).

Auf diese Weise leisten Industrieanlagen einen Beitrag zur Stabilisierung des Stromnetzes. Dabei hat jede Anlage ihre Grenzen: Ein Zementwerk kann das Mahlwerk stoppen, nicht

aber den Hauptprozess. Eine Biogasanlage kann die Stromproduktion einstellen – aber nur bis der Gasspeicher voll ist. Ein Stahlwerk wiederum ist für die Bereitstellung von Regelleistung gänzlich ungeeignet, wenn die Produktionsanlagen aus betrieblichen Gründen nicht flexibel gesteuert werden können.

### Industrieanlagen schliessen sich zusammen

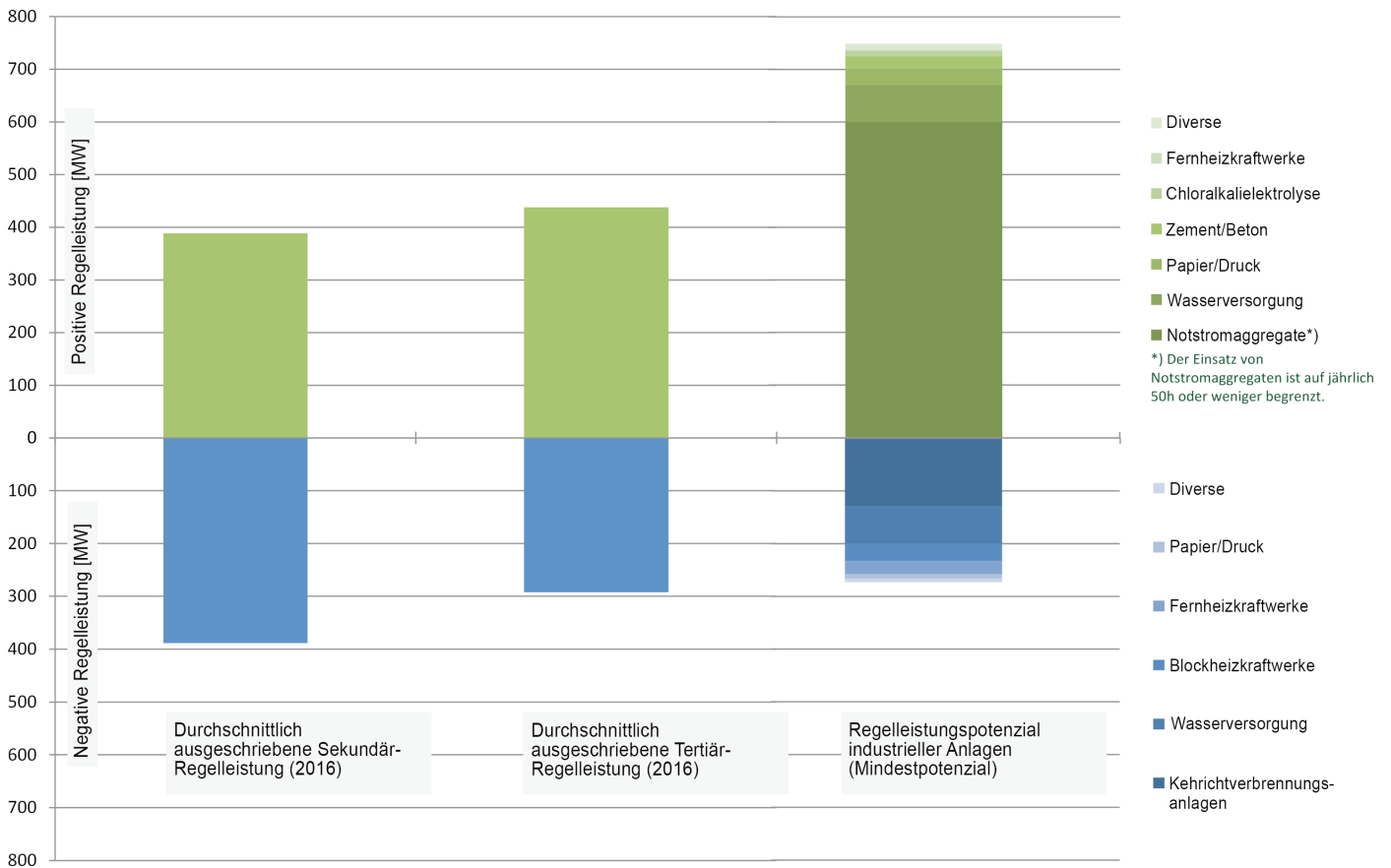
Wenn ein Pumpspeicherkraftwerk in den Alpen seine Stromproduktion erhöht oder drosselt, kann es Regelleistung im Umfang von mehreren Hundert Megawatt bereitstellen. Weit geringer sind die Leistungen, die eine Kläranlage, eine Wasserversorgung, ein Zementwerk oder eine Papierfabrik beisteuern können. Deshalb werden mehrere Anlagen in einem Pool verbunden. Kann ein Pool mehr als 5 MW Regelleistung liefern, kann er an den Swissgrid-Auktionen teilnehmen, über die die nationale Netzgesellschaft Regelleistung beim günstigsten Anbieter einkauft.



Christoph Imboden, Professor für Produktinnovation an der Hochschule Luzern, hat in einer Studie abgeschätzt, welche Industrieanlagen Regelleistung rentabel anbieten können. Foto: Martin Vogel

Für welche Industriebetriebe ist es rentabel, sich einem Regelleistungs-Pool anzuschliessen? Diese Frage hat Christoph Imboden mit einem Team der HSLU untersucht. Die Forscher machten jene Industriebetriebe aus, die ihre Prozesse so flexibel organisieren können, dass sie in der Lage sind, Regelleistung von mindestens 300 kW tage- oder wochenweise wirtschaftlich vorzuhalten, um sie im Bedarfsfall an Swissgrid liefern zu können. Die Wissenschaftler identifizierten neun Branchen, in denen insgesamt ein Regelleistungs-Potenzial von mindestens 740 MW (positive Regelleistung) bzw. 270 MW (negative Regelleistung) schlummert (vgl. Grafik S. 3). «Wird dieses Potenzial ausgeschöpft, ist die Industrie in der Lage, einen erheblichen Teil des Schweizer Regelleistungs-Bedarfs zu decken», sagt Imboden.

Die Luzerner Forscher führen in ihrer Untersuchung jene Industrieanlagen auf, die gute Chancen haben, am Regelleis-



Forscher der Hochschule Luzern haben in einer Bottom-up-Schätzung das kommerziell nutzbare Potenzial von Regelleistung aus Industrieanlagen abgeschätzt (Säule rechts). Dieses Potenzial setzt sich zusammen aus sekundärer und tertiärer Regelleistung. Die beiden Säulen links zeigen zum Vergleich den Bedarf von Swissgrid für sekundäre und tertiäre Regelleistung im Jahr 2016. Bottom-up-Schätzung bedeutet, dass die Schätzung nicht abschliessend zu verstehen ist, sondern dass in den genannten Branchen und darüber hinaus vermutlich noch weitere Potenziale brachliegen. Grafik: Imboden/HSLU

tungsmarkt profitabel zu agieren. Nicht berücksichtigt in der Potentialabschätzung haben sie Anlagen mit Leistungen bis zu 100 kW. Hier sind die Forscher skeptisch in der Beurteilung der aktuellen Marktaussichten: «Bei Anlagen mit geringer Leistung wird es zunehmend schwierig, mit heutigen Marktpreisen einen für den Anlagenbetreiber sinnvollen *business case* zu erreichen», sagt Imboden.

### Kläranlagen am Regelleistungsmarkt

Bereits 2013 hatte eine vom BFE mitfinanzierte Studie des Vereins InfraWatt, ein Expertennetzwerk für die Energienutzung aus Infrastrukturanlagen, bei KVA, Kläranlagen und Wasserversorgungen ein grosses Potenzial für Regelleistung aufgedeckt: Für negative Regelleistung während einer Stunde liegt es heute bei 233 MW und im Jahr 2050 sogar bei 290 MW, für positive Regelleistung bei 140 MW (heute) bzw.

198 MW (2050). Bei Infrastrukturanlagen gilt es dabei zu berücksichtigen, dass die Versorgungssicherheit bei den Wasserversorgungen und die Einhaltung der Gewässerschutzvorschriften bei den ARA erste Priorität geniessen.

Aufbauend auf der Potenzialstudie hat InfraWatt 2014 das BFE-Leuchtturmprojekt «Regelpooling mit Infrastrukturanlagen (Wasserversorgungen und Abwasserreinigungsanlagen)» lanciert, um die konkreten Nutzungsmöglichkeiten genauer zu untersuchen. Beteiligt waren neben InfraWatt die Ryser Ingenieure AG (Spezialistin Siedlungswasserwirtschaft) und die Energieversorgerin Alpiq AG (als Regelpoolbetreiber). Aus dem Projekt, das 2017 abgeschlossen wurde, ging eine Gruppe von vier Kläranlagen hervor, die mit Blockheizkraftwerken (BHKW) Klärgas verstromen und zusammen rund 1 MW negative Regelleistung bereitstellen können. Die



Die Abwasserreinigungsanlage (ARA) Morgental in Steinach (SG) nimmt am Alpiq-Regelleistungspool teil. Das Blockheizkraftwerk (Foto links) der ARA produziert aus Klärgas elektrische Energie. Wenn Swissgrid negative Regelleistung benötigt, wird die Leistung des BHKW für Minuten oder Stunden gedrosselt. Foto: ARA Morgental



BHKW werden bei Bedarf gedrosselt und das Netz so entlastet. Die Gruppe aus Kläranlagen ist insofern bemerkenswert, als sie nicht tertiäre Regelleistung anbietet (wie manche anderen Industrieanlagen), sondern sekundäre Regelleistung, mit der sich deutlich bessere Erlöse erzielen lassen (vgl. dazu Textbox 1).

### **Geschäft mit sekundärer Regelleistung**

Wer am Markt mit sekundärer Regelleistung teilnehmen will, muss positive und negative Regelleistung im gleichen Umfang anbieten können. Um dies zu erreichen, werden die Kläranlagen (negative Regelleistung) in einem Pool mit Wasserkraftwerken von Alpiq (positive und negative Regelleistung) kombiniert. «In dieser Konstellation erreichen wir zum einen die von Swissgrid geforderten 5 MW Leistung, und wird können negative und positive Regelleistung in gleichem Umfang bereitstellen», sagt Andreas Hurni, Leiter Fachbereich Energie bei Ryser Ingenieure AG. «Wir haben mit diesem Pool im November 2016 die Präqualifikation bei Swissgrid geschafft und damit den Beweis erbracht, dass er technisch funktioniert. Mit dem Pool beteiligen wir uns seit Frühjahr 2017 an den Swissgrid-Auktionen.»

Am Alpiq-Pool haben die Kläranlagen bisher einen relativ geringen Anteil. Doch das könnte sich in Zukunft ändern: Alle BHKW auf Schweizer Kläranlagen könnten gemeinsam nämlich eine Regelleistung (negativ) von etwa 13 bis 15 MW bereitstellen. Wie viele Kläranlagen am Ende zusammenspannen, bleibt abzuwarten. Für die einzelne Anlage – in Frage kommen Anlagen ab etwa 100 kW verfügbarer Flexibilität – sind die Erträge aus der Bereitstellung von Regelleistung mit einigen Tausend bis einigen 10'000 Fr. nämlich vergleichsweise gering. Zudem ziehen es insbesondere grössere Kläranlagen vor, ihr Klärgas als Biogas zu verkaufen, statt es in BHKW zu verstromen.

Bestehende BHKW in Kläranlagen könnten aber unter Umständen trotzdem für die Bereitstellung von Tertiärregelleistung eingesetzt werden und seien damit als Partner eines Regelleistungs-Pools geeignet, betont Hurni. Als Beispiel verweist er auf die ARA Werdhölzli in Zürich: Obwohl die Kläranlage den Grossteil ihres Klärgases aufbereitet und ins



Energiewirt Michael Müller von der Öko-Energie Riethof GmbH in Eschlikon (TG) beteiligt sich mit einer Biogas- sowie einer Photovoltaikanlage am Regelleistungs-Pool von Fleco Power. Foto Fleco Power AG

Erdgasnetz einspeist, werde ein Teil des Klärgases weiterhin im BHKW verstromt. In naher Zukunft werde das BHKW auch Tertiärregelung bereitstellen.

### Regelleistung aus Ökostromanlagen

Im Jahr 2009, bei der Gründung von Swissgrid, stammte die Regelleistung von sieben Anbietern, allesamt angestammte Schweizer Stromkonzerne. Unterdessen hat sich ein Markt etabliert, auf dem rund 20 Anbieter aktiv sind. Unter den neuen Akteuren sind Regelleistungs-Pools, die industrielle Anlagen und Wasserkraftwerke umfassen und von traditionellen Energieversorgern (EVU) betrieben werden. Daneben haben sich spezialisierte Pools etabliert, die unabhängig von EVU arbeiten. Einer von ihnen gehört der 2015 gegründete Fleco Power AG mit Sitz in Gachnang (TG), einer Tochtergesellschaft der Genossenschaft Ökostrom Schweiz und des Photovoltaik-Dienstleisters MBRsolar AG. Fleco Power betreibt den schweizweit ersten Pool, der ausschliesslich mit neuen Erneuerbaren Energien arbeitet. Beteiligt sind aktuell rund 100 Kleinkraftwerke; zu gleichen Teilen landwirtschaftliche Biogasanlagen, Photovoltaikanlagen und Kleinwasserkraftwerke. Hervorgegangen ist der Verbund aus einem Demonstrationsprojekt, bei dem das BFE Vernetzung sowie Einbindung und Optimierung der Software finanziert hatte. Mit dem Pool bietet Fleco Power nun gegenüber Swissgrid tertiäre Regelleistung (negativ) im unteren zweistelligen MW-Bereich an.

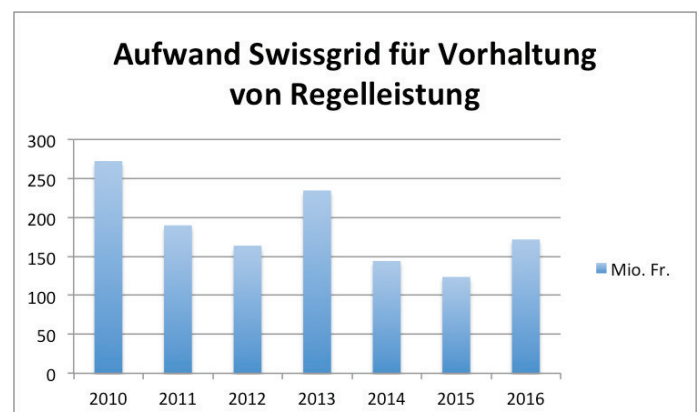
«Wir sind mit dem bisherigen Geschäftsverlauf absolut zufrieden», sagt Fleco-Power-Vertriebschef Patrick Neuenschwander.

Die Erlöse stammen hauptsächlich aus der Vorhaltung der Regelleistung, zu einem geringeren Teil aus der Abgeltung für Energielieferungen. Da der Fleco-Power-Verbund aus vielen dezentralen Erzeugungseinheiten besteht, ist an jedem Energieabruf eine grosse Zahl von Anlagen involviert: Bis zu 70 Anlagen werden dann unter Verwendung eines ausgeklügelten Leitsystems nach ihrer jeweiligen Verfügbarkeit eingesetzt. «Die Bereitstellung von Regelleistung sehen wir als ein Puzzelstück auf dem Weg zu einer umfassenden Vermarktung aller Potentiale einer Anlage, deshalb bietet Fleco Power in Ergänzung zur Regelleistung auch Dienstleistungen im Bereich der Vermarktung der Energie sowie des ökologischen und regionalen Mehrwerts an», sagt Neuenschwander.

### Einsatz von Notstromaggregaten?

Auch wenn der Regelleistungs-Markt heute noch von den traditionellen EVU dominiert wird, profitieren die Stromkonsumenten heute von sinkenden Preisen. «Bezahlt der Stromkunde 2017 noch 0,4 Rappen für allgemeine Systemdienstleistungen, werden es 2018 noch 0,32 Rappen sein. Der sinkende Tarif ist unter anderem auf tiefere Kosten für die Regelleistungsvorhaltung zurückzuführen. Das hat Swissgrid erreicht, indem sie die Produkte stets weiterentwickelt hat und auch die Anzahl der Anbieter im In- und Ausland und damit den Wettbewerb im Regelleistungsmarkt erhöht wurde», sagt Serge Wisselmann, Leiter TSO Markets Planning & Procurement bei Swissgrid.

Der Regelleistungs-Markt könnte in Zukunft weiter wachsen. Das grösste Potenzial für sekundäre und tertiäre Regelleistung, das die eingangs erwähnte Studie der Hochschule



Der Aufwand der nationalen Netzgesellschaft Swissgrid für die Abgeltung von Regelleistung ist in den letzten Jahren tendenziell rückläufig. Grafik: B. Vogel/Geschäftsberichte Swissgrid

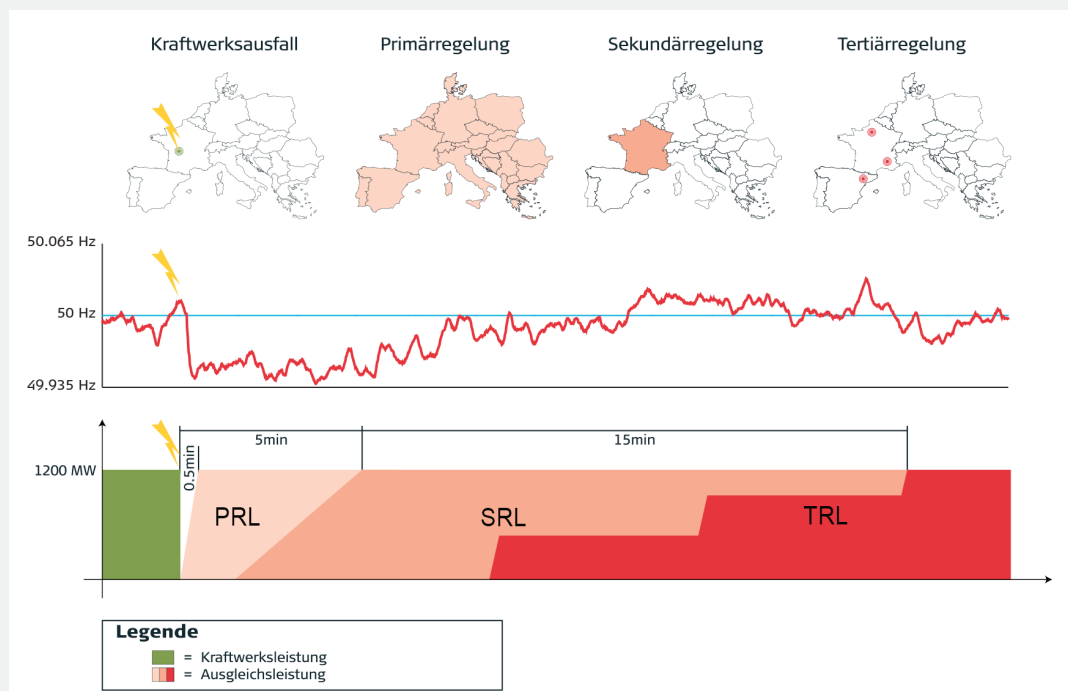
Luzern bei Industrieanlagen ausgemacht hat, wird bisher nämlich überhaupt noch nicht genutzt: Notstromaggregate, wie sie beispielsweise Spitäler für den Fall von Stromausfällen bereithalten und die mitunter über Leistungen im MW-Bereich verfügen. Die Dieselgeneratoren eignen sich für die

Vorhaltung von Regelleistung, aber nur bedingt für deren Abruf, da sie gemäss Luftreinhalte-Verordnung in den meisten Kantonen nicht länger als 50 Stunden pro Jahr laufen dürfen. Notstromaggregate können daher in Pools eingebunden werden, in denen bevorzugt konventionelle Kraftwerke

## ENTSCHÄDIGT WIRD, WER STROM VORHÄLT UND WER STROM LIEFERT

Swissgrid hat die Aufgabe, das Schweizer Stromnetz im Gleichgewicht zu halten: Wenn zuwenig Strom im Netz ist, muss Swissgrid in kurzer Frist zusätzlich Strom beschaffen oder den Verbrauch senken, und wenn zuviel Strom im Netz ist, muss Swissgrid den Zufluss von Strom schnell drosseln oder grössere Verbraucher zuschalten. Für diese Aufgabe greift die nationale Netzgesellschaft mit Sitz in Laufenburg (AG) auf spezielle Anbieter zurück, hauptsächlich Kraftwerke, in jüngerer Zeit aber auch vermehrt Industrieanlagen und andere Stromverbraucher. Diese Anbieter verpflichten sich, Swissgrid auf Anforderung innert weniger Minuten *positive* Regelleistung zur Verfügung zu stellen, was durch Erhöhung der Kraftwerksleistung oder Drosseln des Stromverbrauchs geschieht – oder aber *negative* Regelleistung, was durch Senken der Kraftwerksleistung oder Erhöhung des Stromverbrauchs gelingt. Für die Bereitschaft, positive oder negative Regelleistung während eines bestimmten Zeitraums (in der Regel wochenweise) vorzuhalten, werden die Anbieter durch Swissgrid finanziell entschädigt. Wenn Swissgrid dann Regelleistung abrufen, wird die *Energielieferung* zusätzlich vergütet.

Für die Vorhaltung von Regelleistung hat Swissgrid die Anbieter 2016 mit insgesamt 171,8 Mio. Fr. entschädigt. Zwei Drittel bis drei Viertel dieser Summe floss in die Vorhaltung von *sekundärer* Regelleistung (Energielieferung innerhalb von Minuten), der Rest in *primäre* (Energielieferung innerhalb von Sekunden) und *tertiäre* Regelleistung (Energielieferung nach ca. 15 Minuten). Für Anbieter ist es besonders lukrativ, sekundäre Regelleistung anzubieten, weil deren Vorhaltung von Swissgrid rund fünf Mal höher vergütet wird als tertiäre Regelleistung. Allerdings kann es durchaus auch interessant sein, tertiäre Regelleistung anzubieten: Zwar ist die Vorhaltung hier weniger lukrativ, aber beim Abruf können mitunter gute Preise erzielt werden. BV



Beim Ausfall eines Kraftwerks wird der ausgefallene Strom durch Regelleistung ausgeglichen. Die Grafik illustriert diesen Vorgang am Beispiel eines französischen Kernkraftwerks (mit 1200 MW Leistung): Durch den Ausfall dieses Kraftwerks fliesst weniger Strom ins Netz – die Frequenz sackt unter den Normwert von 50 Hertz ab. Die fehlende Strommenge wird zuerst durch Primäre Regelleistung (PRL), anschliessend durch Sekundäre Regelleistung (SRL) und schliesslich durch Tertiäre Regelleistung (TRL) ausgeglichen. PRL, SRL und TRL wird von ausgewählten Anbietern speziell für solche Krisenfälle bereitgehalten. Während PRL im europäischen Verbund bereitgestellt wird, liegen SRL und TRL in nationaler Verantwortlichkeit. Grafik: Swissgrid

den Strom produzieren, falls die vorgehaltene Energie von Swissgrid abgerufen wird. In diesem Fall sind die Notstromaggregate für den Betreiber finanziell interessant, leisten aber keinen direkten Beitrag zu einem stabilen Netz. Denkbar ist auch, Testläufe mit dem Abruf zu kombinieren.

### Regelleistung als Exportprodukt

Gegenwärtig wächst das Angebot von Regelleistung schneller als die Nachfrage, stellt HSLU-Forscher Christoph Imboden fest: «Kurzfristig dürften die Erlöse, die Anbieter von Regelleistung erzielen, weiter sinken. Längerfristig dürfte es wegen des Ausbaus der erneuerbaren Energien aber mehr Regelleistung brauchen, und damit wird auch der Wert von Regelleistung wieder steigen.» Schweizer Anbieter von Regelleistung können dabei auch auf eine Nachfrage aus Deutschland hoffen, das seine erneuerbaren Energien weiter ausbaut. Heute stammt die Regelleistung in Deutschland zu einem grossen Teil aus Gaskraftwerken, aber diese Quelle könnte in Zukunft nicht mehr ausreichen. In Teilbereichen ist der Markt mit Regelleistung heute schon grenzüberschreitend. Ob sich dieser Trend fortsetzt, hängt von der künftigen Organisation des Energiemarktes ab.

- Den Schlussbericht zum BFE-Leuchtturmprojekt «Regelpooling mit Infrastrukturanlagen» finden Sie unter: <https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=35215>. Der Schlussbericht zum BFE-Forschungsprojekt «Teilnahme industrieller Regelleistungs-Anbieter am Schweizer SDL Markt – Technische und wirtschaftliche Opportunitäten, Bewertungsmethodik» ist abrufbar unter: <https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=35779>.
- Den Schlussbericht zum BFE-Demonstrationsprojekt «Aufbau und Umsetzung eines virtuellen Kraftwerks zur bedarfsgerechten Stromerzeugung aus Biogasanlagen in der Schweiz» finden Sie unter: <https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=36801>
- Die Dokumentation zur Tagung «Flexibilität in der Elektrizitätswirtschaft: Unkonventionelle Beiträge zum Regelleistungsmarkt» vom 10. Mai 2017 an der Hochschule Luzern – Technik & Architektur ist abrufbar unter: [www.hslu.ch/regelleistungsmarkt](http://www.hslu.ch/regelleistungsmarkt)

## PILOT-, DEMONSTRATIONS- UND LEUCHTTURM-PROJEKTE DES BFE

Eine Teil der Projekte, die das BFE in den letzten Jahren zur Vorbereitung des Regelleistungs-Marktes unterstützt hat, gehören zu den Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekten, mit denen das Bundesamt für Energie (BFE) die Entwicklung von sparsamen und rationellen Energietechnologien fördert und die Nutzung erneuerbarer Energien vorantreibt. Das BFE fördert Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte mit 40% der anrechenbaren Kosten. Gesuche können jederzeit eingereicht werden.

### ➤ Informationen unter:

[www.bfe.admin.ch/pilotdemonstration](http://www.bfe.admin.ch/pilotdemonstration)  
[www.bfe.admin.ch/leuchtturmprogramm](http://www.bfe.admin.ch/leuchtturmprogramm)

- Weitere Auskünfte zu den Projekten erteilt Dr. Michael Moser ([michael.moser\[at\]bfe.admin.ch](mailto:michael.moser@bfe.admin.ch)), Leiter des BFE-Forschungsprogramms Netze.
- Weitere Fachbeiträge über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Netze finden Sie unter: [www.bfe.admin.ch/CT/strom](http://www.bfe.admin.ch/CT/strom).