

# Beiträge der Erzeugungstechnologien zur Stromversorgung und Stabilität des elektrischen Systems

Basiswissen-Dokument, Stand Januar 2018

## 1. Zusammenfassung

Um die Stabilität der Stromversorgung zu gewährleisten ist es fundamental, dass das Angebot (Produktion) und die Nachfrage (Last) immer in einem ausgeglichenen Verhältnis stehen. Die verschiedenen Stromerzeugungstechnologien eignen sich in unterschiedlicher Weise für den Ausgleich von Angebot und Nachfrage

Der Ausgleich kann z. B. auf der Basis von Day-ahead-Prognosen stattfinden, also gewissermassen auf „geplante“ Differenzen von Angebot und Nachfrage fokussieren. Der Ausgleich kann aber auch erfolgen für kurzfristig auftretende, zuvor ungeplante Schwankungen bei Last und Produktion. Wird z. B. eine Abweichung ausgeglichen, die innerhalb weniger Sekunden oder Minuten auftritt, werden dazu Systemdienstleistungen benötigt.

Eine wichtige Rolle spielen dabei die drei Faktoren Steuerbarkeit, Flexibilität und Planbarkeit der Produktion: Eine Erzeugungstechnologie trägt umso stärker zur Versorgungssicherheit und zum Systembetrieb bei, je steuerbarer, flexibler und planbarer sie ist. Beim zu erwartenden Ausbau der nicht-steuerbaren Technologien wie Photovoltaik oder Wind ist es daher entscheidend, dass auch genügend flexible Technologien wie Pumpspeicher oder Gas-und-Dampf-Kombikraftwerke zur Verfügung stehen, um die Systembalance zu halten.

## 2. Hauptbeiträge: Sicherung der Versorgung und der Systemdienstleistungen

Der fundamentale Auftrag des gesamten Elektrizitätssystems besteht darin, zu jedem Augenblick den Ausgleich zwischen Nachfrage und Angebot zu gewährleisten, so dass die Versorgung konstant und stabil ist. Für einen einzelnen Verbraucher soll das Gesamtnetz grundsätzlich wie eine "unendliche" elektrische Quelle hinter der Steckdose aussehen, die jederzeit den benötigten Strom liefert. Spannung und Frequenz müssen dabei in bestimmten engen Grenzen bleiben, denn die meisten Verbrauchsgeräte sind auf diese Stabilität angewiesen, um richtig und zuverlässig zu funktionieren.

Um die Stabilität elektrischer Systeme zu gewährleisten, muss die Erzeugungsseite zwei Hauptaufträge erfüllen:

1. Versorgung der prognostizierten Last sichern (Leistung bzw. Energie nach prognostiziertem Fahrplan bereitstellen).
2. Balance des Systembetriebs sichern (Systemdienstleistungen – Reserveleistung und Regelernergie – zum Ausgleich von Abweichungen von der Prognose).

Als Qualitätsmass der durchschnittlichen Versorgungsunterbrechung in der Schweiz wurde der sogenannte SAIDI-Wert von knapp 20 Minuten pro Jahr ermittelt<sup>1</sup>, was einer Verfügbarkeit von 99,996 % entspricht.

### 3. Fakten heute

#### 3.1 Übersicht

Die Produktions- und Lastschwankungen, die unabhängige Ursachen haben, müssen gegeneinander ausgeglichen werden. Um das Gesamtsystem jederzeit in Balance zu halten, wird täglich ein **schrittweises Planungsverfahren** durchgeführt:

- a) Berechnung einer Lastprognose
- b) Bereitstellung von Kraftwerksleistung (Fahrplan)
- c) Bereitstellung von Reserveleistung und Regelenergie
- d) Regelung des Netzes in Echtzeit

Typischerweise finden die Planungen für jede einzelne Viertelstunde einen Tag im Voraus statt ("day-ahead"). Im ersten Schritt wird aufgrund verschiedener aufdatierter Informationen eine **Prognose des Lastverlaufs** berechnet, der für den folgenden Tag erwartet wird. Insbesondere Wochentag, Tagesstunde, Kalender sowie Wettervorhersage für Temperatur, Sonneneinstrahlung und Windstärke spielen hier eine Rolle.

Der zweite Schritt ist die Bereitstellung von **Kraftwerksleistung**: Der Einsatz der verschiedenen Produktionseinheiten für die Versorgung der erwarteten Last wird geplant. Welche Kraftwerke im Detail eingesetzt werden, ist nicht nur Ergebnis des Strebens nach sicherer Stromversorgung, sondern hängt auch von den Grosshandelsmarktpreisen ab.

Im dritten Schritt geht es darum, **Reserveleistung und Regelenergie** bereitzustellen. Zusätzliche Produktionseinheiten werden dafür reserviert, die unerwarteten Schwankungen auszugleichen und den Systembetrieb zu sichern. Kurz vor der Lieferung können noch Anpassungen am Einsatzplan durchgeführt werden ("intra-day", d.h. innerhalb des gleichen Tages). Hierfür gibt es einen separaten Markt.

Im letzten Schritt, also im Augenblick der Stromlieferung, müssen die Abweichungen zwischen Last und Produktion in Echtzeit verringert werden ("balancing"). Ein komplexes **Regelungssystem** ist für die Erhaltung der Stabilität notwendig. Gelingt die Abstimmung von Last und Produktion nicht, droht ein Zusammenbruch des Gesamtsystems. Den Netzbetrieb sicherzustellen, ist Aufgabe des Übertragungsnetzbetreibers, der hierzu sogenannte **Systemdienstleistungen** (SDL) in Anspruch nimmt.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> SAIDI = System Average Interruption Duration Index. Der Wert gibt die Zeit in Minuten an, in der während eines Jahres jeder Kunde im Durchschnitt ohne Strom war.

<sup>2</sup> Die Schweizer Übertragungsnetzbetreiberin Swissgrid definiert Systemdienstleistungen wie folgt: „Als Systemdienstleistungen (SDL) werden in der Elektrizitätsversorgung alle Dienste bezeichnet, die Netzbetreiber für Kunden neben der Übertragung und Verteilung elektrischer Energie zusätzlich erbringen. Dazu gehören u.a. die Bereitstellung und der Betrieb eines Fahrplan- und Engpassmanagementsystems sowie koordinative Aufgaben innerhalb der Schweiz und in Europa. Den mit Abstand grössten Anteil der Kosten für Systemdienstleistungen macht jedoch die Regelenergie aus. Diese ist eine Art Versicherung gegen Stromausfälle, die Swissgrid mit Stromproduzenten und -abnehmern abschliesst, um im Fall von unvorhergesehenen Ereignissen kritische Netzsituationen zu meistern.“ (Quelle: www.swissgrid.ch)

### 3.2 Beitrag der Erzeugungstechnologien zu Versorgungssicherheit

Drei Schlüsselkriterien bilden die Merkmale der Energiequalität von Produktionstechnologien: die **Steuerbarkeit** der Produktion, ihre **Flexibilität** sowie ihre **Planbarkeit**. Es ist wichtig, diese Begriffe näher zu definieren und genau zu verstehen.

#### 3.2.1 Steuerbarkeit der Produktion

Eine Erzeugungstechnologie ist **steuerbar**, wenn sie eine vorgegebene Leistung innerhalb der Kapazitätsgrenzen während eines gewünschten Zeitfensters auf Wunsch liefern kann. Ein Mass für die Steuerbarkeit einer Technologie ist das Verhältnis zwischen gesicherter und installierter Leistung.

Der Betreiber einer steuerbaren Anlage kann daher selbst entscheiden, ob diese Strom liefert oder nicht. Typischerweise sind Kraftwerke steuerbar, die mit einem Brennstoff betrieben werden. Ein Beispiel von sehr gut steuerbaren Technologien sind Speicherkraftwerke und Gaskraftwerke. Die Produktionen aus Photovoltaik- und Windkraftwerken hingegen sind wetterabhängig und sind, abgesehen von der externen Abschaltung, nicht steuerbar. Ihre Leistung schwankt und kann im Voraus nicht fest "bestellt" werden (siehe Abbildung 1).

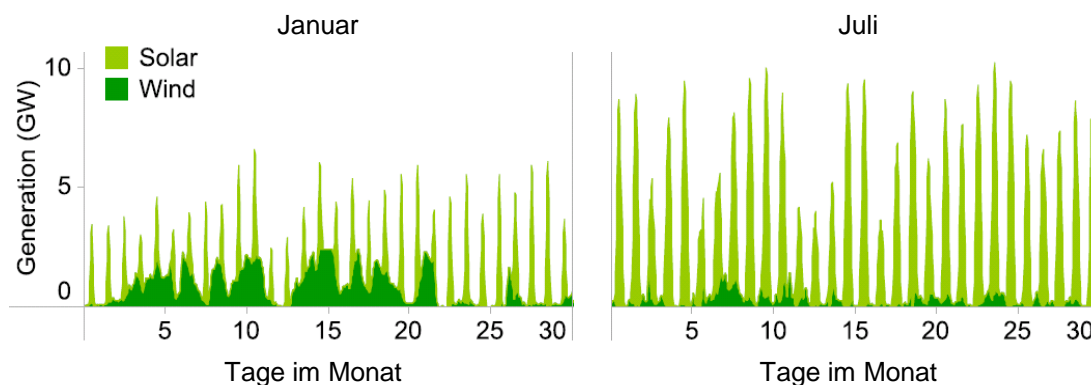


Abbildung 1: Beispiel von Solar- und Windproduktion mit historischem Monatswetter 2008 (31 Tage im Januar bzw. Juli) für eine hypothetische installierte Kapazität von ca. 15 GW Solar, 2,5 GW Wind. Quelle: VSE 2012.

#### 3.2.2 Flexibilität der Produktion

Kann der Kraftwerksbetreiber die Produktion nicht nur selbst bestimmen, sondern dazu noch zeitlich variieren, wird die Erzeugungstechnologie als **flexibel** bezeichnet. Flexibilität setzt demnach Steuerbarkeit voraus. Ein Mass für die Flexibilität – neben der Reaktionszeit – ist die Schnelligkeit, mit der ein Kraftwerk die bereitgestellte Leistung ändern kann (so genannter Leistungsgradient, abzulesen an der Steigung der Geraden in Abbildung 2).

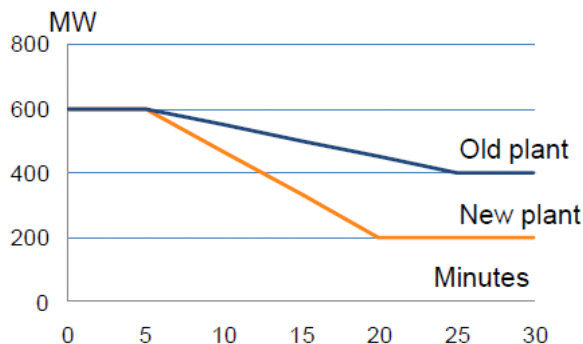


Abbildung 2: Verbesserung von Flexibilitätsparametern bei neuen Anlagen(Leistungsgradient und Leistungsbereich). Quelle: VSE 2012.

Als Beispiel stellt eine Gasturbine nicht nur eine steuerbare, sondern auch eine flexible Erzeugungstechnologie dar, während Kohlekraftwerke eher träge reagieren und daher nicht sehr flexibel sind. Im Gegensatz zu den ebenfalls sehr flexiblen Speicherwasserkraftwerken sind Laufwasserkraftwerke bisher kaum flexibel. Um neuen Entwicklungen wie unregelmässiger Einspeisung von Strom aus Wind und Sonne sowie negativen Strompreisen gerecht zu werden, nutzen neu einige Laufwasserkraftwerke nicht immer sämtliches zufließendes Wasser und tragen mit dieser Flexibilisierung der Produktion zu einem sicheren und stabilen Netzbetrieb bei.

Sofern Steuerbarkeit und Flexibilität einer Erzeugungstechnologie gegeben sind, kann diese aktiv zur Systemstabilität beitragen.

### 3.2.3 Planbarkeit der Produktion

Wie **planbar** eine Erzeugungstechnologie ist, kann durch die Genauigkeit der Prognose ihres Produktionsprofils gemessen werden. Ein Mass für die Planbarkeit ist die mittlere absolute Abweichung zwischen Leistungsprognose (zum Beispiel einen Tag im Voraus) und realisierter Leistung, im Verhältnis zur installierten Leistung.

Windenergie zum Beispiel ist mehr als einige Stunden im Voraus nur wenig präzise planbar, denn die Stromproduktion ist hier proportional zur dritten Potenz („hoch drei“) der Windgeschwindigkeit. Bei einer Verdoppelung der Windgeschwindigkeit wird demnach 8-Mal mehr Energie produziert. Geringe Abweichungen in der Vorhersage entfalten hier eine grosse Wirkung. Die Produktion aus Photovoltaik ist im Verhältnis dazu besser planbar (siehe Abbildung 3), da sie sich nach dem Sonnenstand richtet. Nur unvorhergesehene Bewölkung lässt die tatsächliche Produktion von der Vorhersage abweichen.

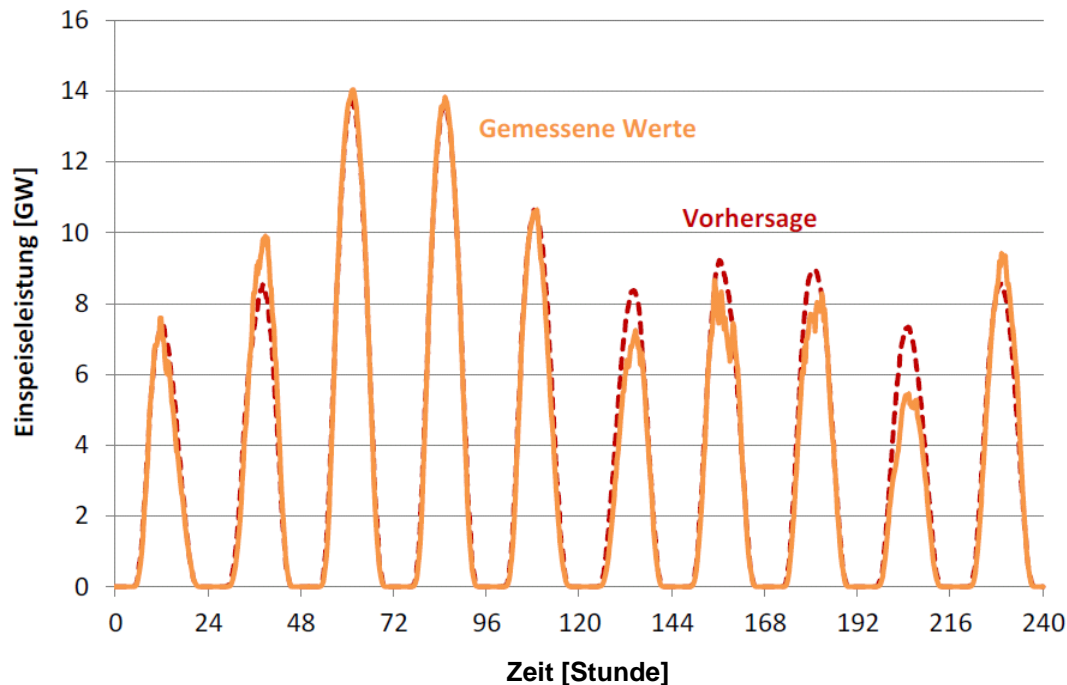


Abbildung 3: Beispiel von Vorhersage und realisierter Solarproduktion in Deutschland mit Wetter vom 25.6.-3.7.2011 (240 Stunden) für eine hypothetische installierte Kapazität von 14 GW. Quelle: ETHZ 2011.

### 3.2.4 Prinzipieller Einfluss schwankender Stromeinspeisung auf das System

Die Produktionstechnologien unterscheiden sich bezüglich der Qualität ihrer Energie, deren Merkmale die Planbarkeit, Flexibilität und Steuerbarkeit sind. Steigt die schwankende Stromeinspeisung durch Zubau der Stromerzeugung aus Wind und Sonne, bringt dies neue Herausforderungen:

- Mehr steuerbare, flexible und prognostizierbare Versorgungskapazitäten sind erforderlich: für Perioden mit geringer Sonnen- und Windstromeinspeisung bei dem Einsatz innerhalb von einem Tag, als flexible Backup-Kapazitäten oder als „day-ahead / intra-day“<sup>3</sup> verfügbare Kapazitäten.
- Es werden zudem mehr Regelkapazitäten benötigt, um Systemdienstleistungen zu erbringen, da – im Vergleich zu anderen Technologien – bei der Erzeugung von Solar- und vor allem bei Windenergie mehr Prognosefehler auftreten.

Grundsätzlich gilt, dass ein kurzer Prognosehorizont den Bedarf an Systemdienstleistungen zum Ausgleich der Energiebalance des Systems mindert. Abbildung 4 veranschaulicht, dass der Sonnenschein einen erheblichen Einfluss auf die Stromversorgung hat. Betrachtet man die Unterschiede von einem Tag zum nächsten, wird erstens klar, in welchem Umfang die Produktion schwankt und nicht steuerbar ist. Zweitens werden die saisonalen Unterschiede deutlich (relativ wenig Solarstrom im Winter, relativ viel Solarstrom im Sommer).

<sup>3</sup> Kapazitäten, deren Leistung mit einem Tag Vorlauf bzw. im Laufe des Tages der Beanspruchung bestellt wird.

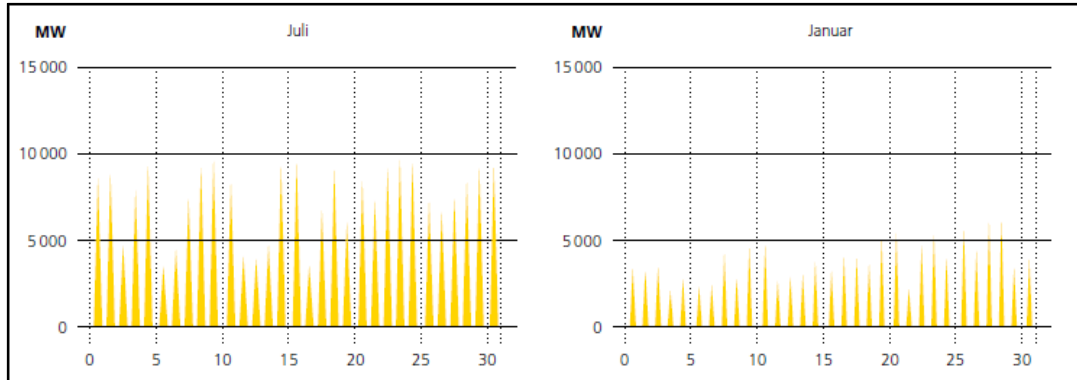


Abbildung 4: Produktion aus Photovoltaik-Anlagen bei einer künftigen installierten Leistung von 14 000 MW in der Schweiz auf der Basis von echten Wetterdaten von 2008. Die rechte Grafik zeigt den Monat Juli, rechts ist der Monat Januar abgebildet. Quelle: VSE 2012.

Ein besonders geeignetes Instrument, um den Bedarf des Gesamtsystems nach Flexibilität zu quantifizieren, ist die **Jahresverteilungskurve** der stündlichen Last über ein ganzes Jahr. Ordnet man die Viertelstunden von der grössten bis zur kleinsten Last, d.h. als Funktion der benötigten Leistung, erkennt man leicht die konstant benötigte Bandenergie (Abbildung 5, graue Fläche = Leistung  $\times$  Dauer) und die benötigte Flexibilitätsleistung (Abstand zwischen  $P_{\min}$  bei tiefster Nachfrage und  $P_{\max}$  bei höchster Nachfrage).

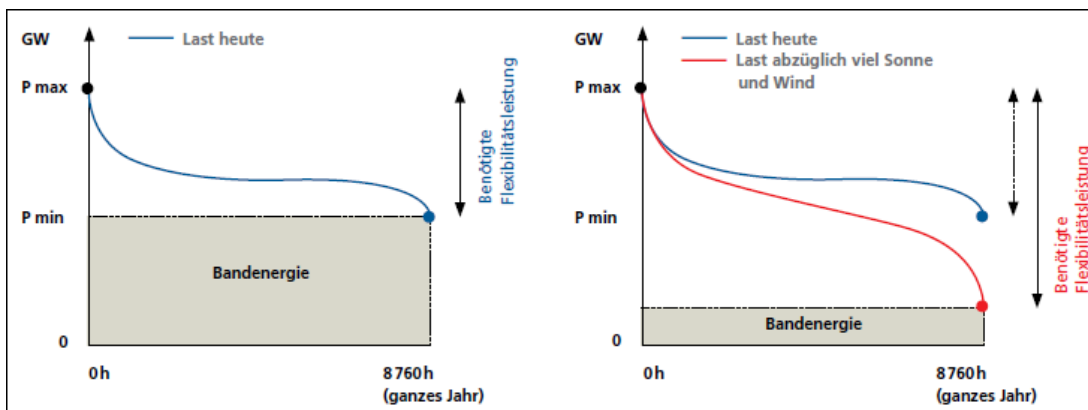


Abbildung 5: Jahresverteilungskurve der Last und Bandenergiebedarf ohne (links) und mit viel Solar- und Windproduktion (rechts). Quelle: VSE 2012a.

Durch ihre Energieeinspeisung tragen die Solar- und Windproduktion einerseits in nur sehr begrenztem Umfang dazu bei, die konstant benötigte Bandenergie zu reduzieren. Andererseits bringen sie höhere Anforderungen bezüglich der Leistungsbereitstellung. Zieht man – für jede Viertelstunde – die nicht steuerbare Produktion aus Wind- und Sonnenenergie, aus Laufwasserkraft, dem Laufwasseranteil der Speicherwasserkraft sowie sonstiger im Dauerbetrieb produzierender, aber nicht steuerbarer Anlagen wie Kehrichtverbrennung von der Gesamtlast ab, erhält man die **Residuallast** oder **schwankende Nettolast**. Die steuerbare Produktion muss jederzeit die schwankende Nettolast ausgleichen. Da Schwankungen der nicht steuerbaren Produktion und Schwankungen der Gesamtlast unabhängig sind, gleichen sie sich gegenseitig nicht aus, im Gegenteil: Als Nebeneffekt muss die steuerbare Produktion grössere Schwankungen der Nettolast (im Vergleich zur Gesamtlast) ausgleichen. Als Folge wird eine grössere Flexibilitätsleistung benötigt (siehe Abbildung 5).

### 3.2.5 Vergleich der Erzeugungstechnologien

Damit das Gesamtsystem überhaupt funktionieren kann, **muss** also ein Teil der Produktion steuerbar, flexibel und planbar sein – es ist eine Randbedingung der Physik. Diese Tatsache ist entscheidend: Je steuerbarer, flexibler, und planbarer eine Erzeugungstechnologie ist, desto grösser ist ihr Beitrag zur Sicherheit der Versorgung sowie des Systembetriebs.

In der folgenden Abbildung werden die Beiträge der verschiedenen Erzeugungstechnologien miteinander verglichen.

Technologie	Planbarkeit	Steuerbarkeit	Flexibilität	Betriebsvolllaststunden (h/a)
Laufwasserkraft (gross/klein)	Gross: gut Klein: mässig	Nein	Nein	Ca. 4400
(Pump-) Speicherwasserkraft	Gut	Ja	Ja	Ca. 2200
Biomasse	Gut	Ja <sup>29</sup>	Holz: eingeschränkt Biogas: ja <sup>30</sup>	5000–7000 (mehrheitlich im Winter)
Photovoltaik	Mässig	Nein	Nein	Ca. 950 (rund 1/3 im Winter)
Wind	Gering	Nein	Nein	1600–2000 (rund 2/3 im Winter)
Geothermie	Gut	Ja	Eingeschränkt	6500–8000
WKK	Gut	Eingeschränkt	Eingeschränkt	3000–4500 (rund 3/4 im Winter)
Gaskombikraftwerk	Gut	Ja	Ja	4000–8000
Kernkraft	Gut	Ja	Eingeschränkt	Ca. 8000

<sup>29</sup> Bei Wärmenutzung eingeschränkte Steuerbarkeit. <sup>30</sup> Je nach Wärmenutzung eingeschränkt

Abbildung 6 Vergleich der Energiequalität verschiedener Technologien. Quelle: VSE 2012a.

### 3.3 Beitrag der Erzeugungstechnologien zu Systemdienstleistungen

Die Bilanzgruppen<sup>4</sup> sind dauernd bestrebt, die Ausgeglichenheit ihrer Last mit eigener Erzeugung resp. mit Handelsgeschäften zu gewährleisten. Dies ist aber nur zeitlich beschränkt und immer nur aus Sicht der Bilanzgruppe möglich. In der Regelzone Schweiz übernimmt deshalb Swissgrid – die schweizerische Netzgesellschaft – die Aufgabe, Produktion und Last kontinuierlich auszugleichen. Sie richtet sich dabei nach den Vorgaben des europäischen Stromverbands ENTSO-E.

#### 3.3.1 Definition des Bedarfs an Backup-Kraftwerken (Regelleistung)

Mit der Marktliberalisierung haben sich in der Schweiz die Aufgaben und Verantwortlichkeiten der Gewährleistung der Netzsicherheit geändert. Seit dem 1.1.2009 ist Swissgrid per Gesetz verpflichtet, den Systembetrieb (Stromnetz) aufrecht zu erhalten. In dieser Funktion hat Swissgrid die Aufgabe, zu jedem Zeitpunkt die Differenz zwischen Last und Erzeugung mittels folgender Systemdienstleistungen auszugleichen<sup>5</sup>:

- Primärregelung: +/- 71 MW<sup>6</sup>
- Sekundärregelung: +/- 400 MW
- Tertiärregelung: + 450 MW / - 390 MW

<sup>4</sup> Eine Bilanzgruppe ist eine Art Konto von Händlern und Produzenten beim Übertragungsnetzbetreiber, über das die Handelsgeschäfte abgewickelt, Energie von Kraftwerken aufgenommen oder an Endverteiler abgegeben werden kann. Siehe auch [www.swissgrid.ch](http://www.swissgrid.ch).

<sup>5</sup> Quelle: Swissgrid 2015

<sup>6</sup> Benötigte Menge an Primärregelleistung für die Schweiz. Ausschreibung erfolgt z. T. gemeinsam mit dem Bedarf der Nachbarländer.

Die Primärregelung wird von hierzu geeigneten Kraftwerken zu jedem Zeitpunkt und automatisch erbracht, indem Abweichungen der Netzfrequenz vom Sollwert 50 Hz durch Zu- oder Abnahme der Produktion verringert werden. Hier können Ausschreibungen auch gemeinsam mit den Nachbarländern Deutschland, Frankreich und Österreich erfolgen. Sekundärregelung wird vom Übertragungsnetzbetreiber im Fall von grösseren Frequenzabweichungen, beispielsweise verursacht durch Kraftwerksausfälle oder den Wegfall eines grossen Verbrauchers, automatisch abgerufen, indem Produktionsanlagen ans Netz zugeschaltet oder von diesem getrennt werden. Die Produzenten reservieren hierfür Anlagenkapazitäten (Leistungsvorhaltung), die im Bedarfsfall für einige Minuten verwendet wird. Reicht diese Regelung nicht aus, das Netz zu stabilisieren, ruft der Übertragungsnetzbetreiber die Tertiärregelung ab, die für eine längere Zeit zur Verfügung steht.

Damit Swissgrid diese Regelleistung (bzw. Regelenergie) auch abrufen kann, muss sie diese vorher mit den Stromproduzenten vertraglich vereinbaren. Swissgrid kauft bei den Lieferanten von Systemdienstleistungen eine Option zum Abruf von Regelenergie ein, die sie dann kurzfristig bei Bedarf abrufen kann.<sup>7</sup> Swissgrid ermittelt die nötigen Vorhaltungsmengen mit einem mathematischen Verfahren, das die festgelegte Restrisikowahrscheinlichkeit eines nicht ausgleichbaren Leistungsüberschusses bzw. -defizits berücksichtigt. Für die Berechnung der auszuschreibenden Menge an Leistung für jedes Produkt gibt es folgende Hauptkriterien:

erzeugerseitig	Auswirkung auf benötigte Regelleistung	
	heute	zukünftig
Ausfall von Kraftwerken in der Regelzone Schweiz	abhängig von Struktur des Kraftwerksparks	abhängig von <b>Struktur</b> des Kraftwerksparks
Planungsfehler von nicht steuerbarer Produktion (Laufwasserkraftwerke, Windkraft, Photovoltaik...)	kleiner Einfluss	grosser Einfluss (bei Durchdringung mit neuer erneuerbarer Erzeugung)
Kraftwerke können den stündlichen (sprunghaften) Fahrplanänderungen nur in stetiger Funktion folgen	grosser Einfluss	mittlerer Einfluss (nicht planbare Produktion wirkt dämpfend)
lastseitig	Auswirkung auf benötigte Regelleistung	
	heute	zukünftig
Planungsfehler der Lastprognose (bedingt z.B. durch meteorologische Einflüsse)	mittlerer Einfluss	steigender Einfluss, da die Lastprognose bei einer vollen Liberalisierung, bedingt durch Wechselkunden, schwieriger wird

Tabelle 2: Auswirkungen auf benötigte Regelleistung

Aufgrund der hohen technischen Anforderungen an die Produktionseinheiten für die Erbringung von Systemdienstleistungen ist das Angebot beschränkt. Zudem sind die Möglichkeiten, die Systemdienstleistungen im Ausland einzukaufen, limitiert.

<sup>7</sup> Quelle: Swissgrid 2010



### 3.3.2 Primärregelung (PRL)

Die Primärregelung ist charakterisiert durch:

- automatische frequenzgesteuerte Regelung im Sekundenbereich
- +/- 66 MW Leistungsvorhaltung (Symmetrische Regelleistungsbänder)
- Ausschreibung der Leistungsvorhaltung erfolgt für Schweiz und Österreich, Schweiz und Frankreich und Schweiz und Deutschland

Die Erzeugung von Primärregelung in der Schweiz wird ausschliesslich durch Wasserkraftwerke (Speicher- und Laufwasserkraftwerke) erbracht. Ein Teil der Primärregelleistung wird im Ausland ausgeschrieben, aktuell maximal 25 MW in Frankreich. In Deutschland und Frankreich werden zur Erbringung von Primärregelung auch thermische Kraftwerke eingesetzt.

### 3.3.3 Sekundärregelung (SRL)

Für die Sekundärregelung gilt:

- automatische frequenz-leistungsgesteuerte Regelung im Sekunden- bis Minutenbereich
- +/- 400 MW Leistungsvorhaltung (Symmetrische Regelleistungsbänder)
- Ausschreibung der Leistungsvorhaltung nur in der Schweiz

Die Erzeugung von Sekundärregelung wird ausschliesslich durch Wasserkraftwerke erbracht. Im Ausland werden dazu auch thermische Kraftwerke eingesetzt. Es gibt verschiedene Studien, wie in Zukunft auch andere Kraftwerkstypen (z.B. Windkraftwerke) für die Sekundärregelung eingesetzt werden könnten. Die Wirtschaftlichkeit ist allerdings schwierig abzuschätzen.<sup>8</sup>

### 3.3.4 Tertiärregelung (TRL)

Die Tertiärregelung, in Deutschland auch Minutenreserve genannt, ist in der Schweiz durch Folgendes charakterisiert:

- manuelle Aktivierung der Regelung auf Anforderung von Swissgrid. Die Abrufe von Tertiärenergie werden im Minuten- bis Stundenbereich durchgeführt.
- + 450 MW / - 390 MW Leistungsvorhaltung (asymmetrische Regelleistungsbänder)
- Ausschreibung der Leistungsvorhaltung nur in der Schweiz

Die Vorhaltung von positiver Tertiärregelleistung wird im Moment mit Wasserkraftwerken erbracht. Die Vorhaltung von negativer Tertiärregelleistung wird zu einem grossen Teil durch Kernkraftwerke erbracht. Zusätzlich werden Wasserkraftwerke (Speicher- und Laufwasserkraftwerke, inkl. Pumpleistung) angeboten.

## 4. Zukünftige Entwicklungen

ENTSO-E ist bestrebt, dass wie im Strommarkt auch im Regelenenergiemarkt eine europaweite Zusammenarbeit erfolgt – dies aus Sicherheits-, aber auch aus Kostengründen. Erste Konzepte wie der Netzregelverbund

---

<sup>8</sup> Quelle: Europarl 2012

wurden in Deutschland regelzonenübergreifend bereits umgesetzt. Aus heutiger Sicht wird dies eine länderübergreifende Optimierung des Regelenergieeinsatzes zur Folge haben. Auf die Bereitstellung der Regelleistung in den einzelnen Regelzonen wird es kurzfristig keinen Einfluss haben.

#### 4.1 Nachfrageseitige Entwicklungen

Es gibt aus heutiger Sicht keine Anzeichen für eine massgebliche Änderung auf der Nachfrageseite (Gesamtlast) von Regelleistung für die nächsten zehn Jahre. Allenfalls ist für die Tertiärregelung ein Zusammenrücken zwischen Intraday-Strommarkt und Tertiärenergieangebote vorstellbar. Dies würde eine Reduktion der Leistungsvorhaltung mit sich bringen.

#### 4.2 Angebotsseitige Entwicklungen

Es kann davon ausgegangen werden, dass sich in naher und mittelfristiger Zukunft für die Primär- und Sekundärregelung aufgrund der technischen Anforderungen keine grossen Veränderungen im Angebot der Schweizer Kraftwerkstypen ergeben. Für die Tertiärregelung kommen zusätzliche Anbieter im Zusammenhang mit neuen Möglichkeiten von Lastmanagement auf den Markt. Es gibt beispielsweise Bestrebungen, mit einem Pool aus Kleinkraftwerken (z.B. KVA) und grossen Strombezüglern (Lastzu- und -abschaltung) auch Tertiärregelung positiv und negativ anzubieten. Dieses zusätzliche Angebot wird in den nächsten Jahren kontinuierlich zunehmen. Das Unternehmen Pöyry hat im Auftrag des VSE in einer Studie die künftigen Entwicklungen von Angebot und Nachfrage nach flexibler Erzeugungskapazität in der Schweiz abgeschätzt.<sup>9</sup> Darin wird mit einem stündlichen europäischen Modell berechnet, wie sich beispielsweise der Einsatz von Pumpspeicherkraftwerken in der Schweiz mit extrem stark zunehmender Solar- und Windkapazität ändern würde. Das Muster "Tag/Nacht" bzw. "Arbeitstage/Wochenende" würde sich weitgehend aufheben. Stattdessen würden die Pumpspeicherkraftwerke intensiver zur Kompensation der stündlichen Variationen von Solar- und Windproduktion eingesetzt (Abbildung 7). Es wird ein zusätzlicher Bedarf an Regelleistung von rund 8 bis 10 % der installierten Solar- und Windkapazität geschätzt.

Die für die Schweiz relevantesten Speichertechnologien sind gemäss einer Studie der ETH Zürich Pumpspeicherkraftwerke und längerfristig die Batteriespeicherung.<sup>10</sup> Andere Technologien wie komprimierte Luft oder Wasserstoffspeicherung scheinen wirtschaftlich oder technologisch weniger geeignet.<sup>11</sup> Die Wasserstoffspeicherung könnte längerfristig bei der Sommer-Winter Umlagerung eine Rolle spielen.

---

<sup>9</sup> Quelle: VSE 2012

<sup>10</sup> Quelle: ETHZ 2011

<sup>11</sup> Quelle: Europarl 2012

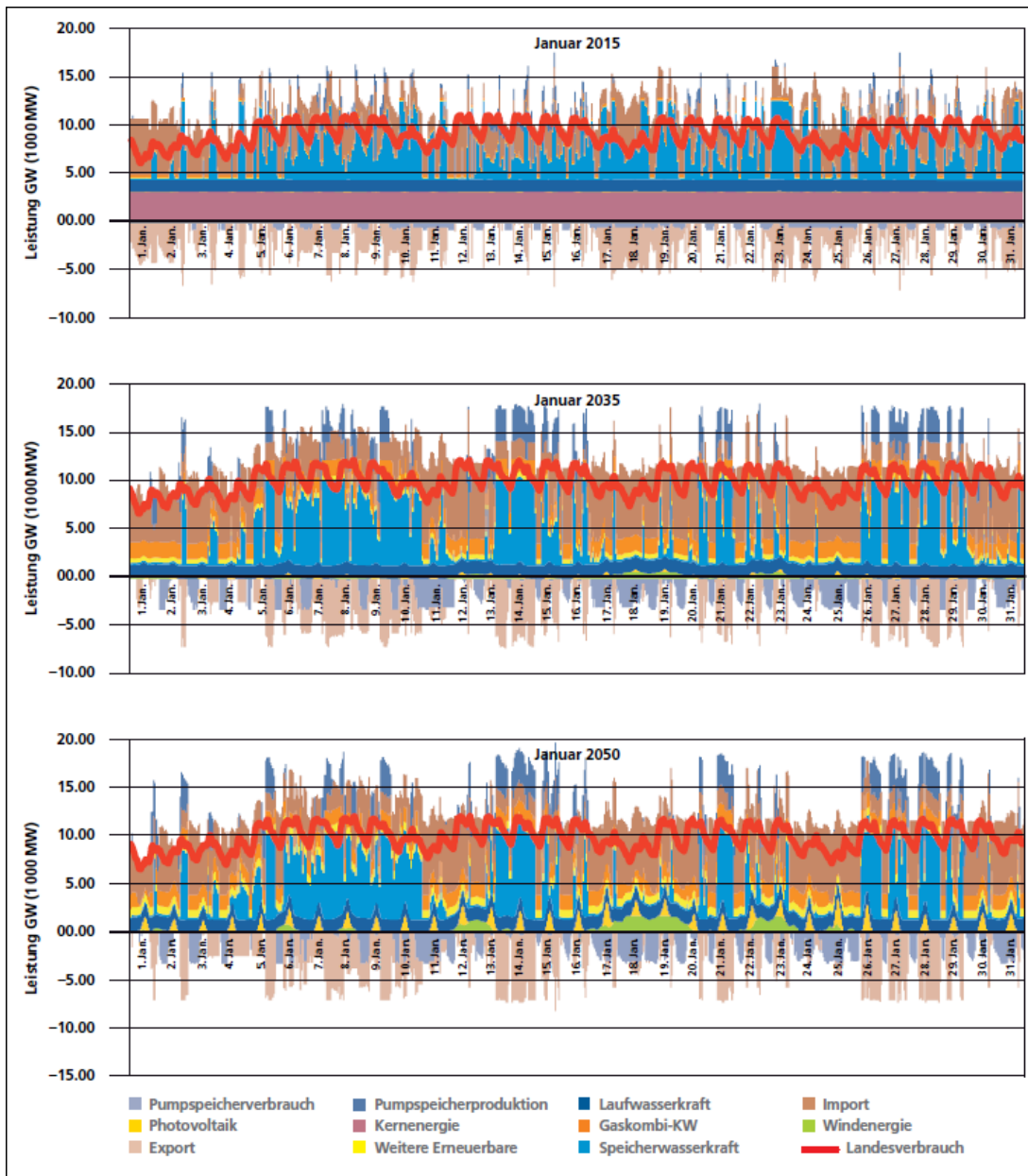


Abbildung 7: Mögliches Produktionsmuster im Winter in den Jahren 2015, 2035 und 2050. Quelle: VSE 2012.

## 5. Fazit

Je steuerbarer, flexibler und planbarer eine Erzeugungstechnologie ist, desto grösser ist ihr Beitrag zur Sicherheit der Versorgung sowie des Systembetriebs. Wenn der Anteil der Produktion aus erneuerbaren Energiequellen weiter erhöht wird, wird die Rolle der Systemdienstleistungen noch wichtiger. Zusätzliche Kapazitäten von den nicht-steuerbaren Technologien Laufwasser, Wind und Photovoltaik sind auf den Einsatz flexibler Technologien (vor allem Pumpspeicher und Gas) angewiesen, um die Systembalance zu halten.

## 6. Quellenverzeichnis

ETHZ 2011	K. Boulouchos et al., Energiezukunft Schweiz, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (ETHZ), Zürich, 2011
Europarl 2012	European Renewable Energy Network, Directorate general for internal policies, Economic and scientific policy Department, European Parliament, Brüssel, 2012
Swissgrid	<a href="http://www.swissgrid.ch">www.swissgrid.ch</a> (Nationale Netzgesellschaft)
Swissgrid 2010	Überblick Systemdienstleistungen, Swissgrid, Frick, 2010
Swissgrid 2015	Grundlagen Systemdienstleistungsprodukte, Swissgrid, Frick, 2015
VSE 2012	Pöyry Management Consulting. Angebot und Nachfrage nach flexibler Erzeugungskapazität in der Schweiz. Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen (VSE/AES), Aarau, 2012
VSE 2012a	Wege in die neue Stromzukunft, Gesamtbericht, Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen (VSE/AES), Aarau, 2012