

# SATW



## Ist das geplante Stromsystem der Schweiz für die Umsetzung der Energiestrategie 2050 aus technischer Sicht geeignet?

Der Bundesrat hat das Bundesamt für Energie BFE beauftragt, eine Energiestrategie für das Jahr 2050 auszuarbeiten mit dem Ziel, diese baldmöglichst umzusetzen. Seit dieser Entscheidung reissen die Diskussionen nicht ab, ob die gesetzten Ziele überhaupt technisch erreichbar sind. Um eine faktenbasierte Diskussion zu unterstützen, hat die Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften (SATW) untersuchen lassen, ob die geplante Energiestrategie in der Schweiz mit der heute vorhandenen und bereits geplanten Infrastruktur **technisch machbar** ist und ob die Versorgung auch in Extremfällen gewährleistet werden kann. **Die Studie setzt voraus, dass alle für 2020 beziehungsweise 2025 geplanten Ausbauten im Bereich Netz und Pumpspeicherkraftwerke ausgeführt werden.** Die dafür notwendigen Investitionen sind bekannt, deren Finanzierung muss aber zum Teil noch geregelt werden. Ökonomische Betrachtungen sind nicht Teil dieser Studie, da diese für den betrachteten Zeitraum zu keinem schlüssigen Ergebnis führen können.

### Welche Fragen wurden untersucht?

- Genügen die Produktions- und Übertragungskapazitäten innerhalb des Landes und grenzüberschreitend, um die Stromversorgung (genügend Energie und genügend Leistung) auch in Extremfällen in allen Landesteilen bis 2050 störungsfrei sicher zu stellen?
- Sind die Pumpspeicherkraftwerke in der Schweiz in der Lage, den durch Photovoltaik und Wind zusätz-

lich produzierten fluktuierenden Strom zwischenspeichern?

- Was würde es bedeuten, wenn in der Schweiz doppelt so viel Strom aus Photovoltaik produziert würde als nach der Energiestrategie vorgesehen?
- Braucht es nach Abschaltung der Kernkraftwerke Gaskraftwerke für die Versorgungssicherheit des Landes?

### Welche Szenarien wurden untersucht?

- Die Studie berücksichtigt die Stromerzeugungs- und Stromverbrauchsszenarien der Energiestrategie 2050 des BFE, die das Stromsystem am stärksten beanspruchen:
  - Weiter wie bisher WWB Variante C&E
  - Massnahmen Bundesrat POM, Varianten C&E und E
- Als «Stresstest» für das Hochspannungssystem wurde ein weiteres Verbrauchsszenario gemäss IEA (International Energy Agency) mit signifikant höherem Stromverbrauch (plus 50 Prozent, rund 87 TWh pro Jahr) durchgerechnet.

### Detaillierte Ergebnisse

Der vorliegende Flyer liefert eine Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse einer ausführlicheren Studie. Diese ist, als PDF in englischer Sprache, bei der SATW erhältlich.

# Wie wurde die Studie erstellt?

Die Simulationen, die dieser Studie zugrunde liegen, zeichnen sich aus durch realitätsnahe Modelle, ein umfassendes Netzmodell unter Einbezug des europäischen Stromsystems und zeitlich sehr detaillierte Berechnungen (8760 stündliche Simulationsschritte pro Referenzjahr).

Das Schweizer Stromsystem wird durch fünf Regionen (Wallis, Tessin, Graubünden, restliche Deutschschweiz, restliche Westschweiz) abgebildet, in denen Verbrauch, Erzeugung und Speicherung auf Grund realer Daten modelliert werden. So wurden in den fünf Regionen Kraftwerksparks, Energiekapazität der Speicherseen und Lastverhalten mit Zeitreihen, basierend auf BFE-Statistiken und den Szenarien des BFE und der International Energy Agency IEA (Verbrauch plus 50 Prozent) modelliert.

Die optimale Pumpspeicher- und Speicherseebewirtschaftung ist hierbei ein Schwerpunkt der Modellierung und Simulation (für die Schweiz basierend auf BFE-Statistikdaten).

Die angenommenen Stromtransportkapazitäten zwischen den fünf Regionen basieren auf den verfügbaren Swissgrid-

Netzdaten für das geplante Übertragungsnetz im Jahr 2020 (Netzmodell des Hochspannungsnetzes von Swissgrid).

Die Produktion von Strom aus Photovoltaik und Wind basiert auf Datensätzen des Bundesamts für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz) für 2013. Daten von insgesamt elf Wetterstationen in der Schweiz werden benutzt.

In den Simulationen wird ein Modell verwendet, das eine europaweite Optimierung der Stromeinspeisung, basierend auf den Grenzkosten der einzelnen Kraftwerke, mit einer Einspeise-Priorität für fluktuierende erneuerbare Energien inklusive Laufwasser- und Speicherkraftwerken beinhaltet.

Zudem beruht das verwendete Simulationsmodell auf dem europäischen Stromnetzmodell (29 Länder), dem Kraftwerkspark-Portfolio in jedem Land sowie landestypischen Lastverbrauchskurven und Wind- / Photovoltaik-Einspeisezeitreihen für die einzelnen Länder in stündlicher Auflösung für das jeweilige Referenzjahr.

Die zurzeit anvisierten Ausbaupläne für das europäische Stromnetz (Kraftwerks- und Stromtransportkapazitäten) werden im vollen Umfang berücksichtigt.

## Resultate

### Versorgungssicherheit BFE-Szenarien

Für jedes der erwähnten BFE-Szenarien kann das Schweizer Stromnetz dank der hohen Flexibilität der Speicherseen und Pumpspeicher die prognostizierte, zukünftige Stromerzeugung aus Wind, Photovoltaik und Geothermie (2050: 11 TWh Photovoltaik, 4 TWh Wind, 4 TWh Geothermie und 16 TWh Laufwasser) quasi vollständig aufnehmen.

Die Stromversorgung der Schweiz kann mit den Import- und Exportkapazitäten des geplanten Schweizer Stromnetzes für das Jahr 2020 in jedem Szenario erfüllt werden.

Ohne Gaskraftwerke, beziehungsweise ohne stärkeren Ausbau der Photovoltaik- und Windenergie-Erzeugung, wird sich der Schweizer Netto-Stromimport im Winter 2050 allerdings im Vergleich zu heute verdoppeln (von 4 auf 8 TWh).

Nach heutiger Planung ist im europäischen Kraftwerksverbund die dafür notwendige Erzeugungskapazität vorhanden.

### Versorgungssicherheit bei Verbrauch plus 50 Prozent

Sogar wenn der Stromverbrauch bis 2050 um 50 Prozent ansteigen würde, kann das ausgebaute Schweizer Stromnetz zuverlässig und sicher betrieben werden, das heisst ohne erzwungene Lastabschaltungen oder Überlastung des Netzes durch Stromimporte.

Falls keine Gas- oder anderen Ersatzkraftwerke oder über die BFE-Szenarien hinaus zusätzliche Photovoltaik- und Windkapazitäten gebaut werden, würde der Nettostromimport im Jahr 2050 bei 20 TWh (2011 2,6 TWh) liegen, was rund 30 Prozent des heutigen Jahresverbrauchs entspricht. Auch dafür ist die notwendige Leitungs- und Produktionska-

pazität im europäischen Verbund vorhanden. Der notwendige Stromimport im Winter würde das Dreifache des heutigen Niveaus erreichen (12 statt 4 TWh) und die Schweiz würde im Sommer keine Nettostromexporteurin mehr sein.

### **Kurzzeitige Versorgungssicherheit in Extremfällen**

Bei dieser hohen Abhängigkeit von importiertem Strom ist es wichtig zu verstehen, ob ein katastrophaler Fehler im europäischen Stromnetz unmittelbare Auswirkungen auf die Schweiz hätte. Um dies zu überprüfen, wurde eine sehr ungünstige Konstellation durchgerechnet: Wintertag, windstill, keine Sonneneinstrahlung, keine Importe aus Europa möglich, keine fossilen Ersatzkraftwerke, keine Kernkraftwerke, historisch sehr niedriger Speichersee-Energieinhalt (15 Prozent) und IEA-Verbrauchsszenario (50 Prozent höher als BFE). Das Resultat ist beruhigend: Die Funktion des Schweizer Stromsystems könnte selbst in diesem extremen Fall theoretisch für sieben Tage aufrechterhalten werden. Danach wären die Speicherseen allerdings «leer» und nur noch 20 Prozent des Spitzenverbrauchs könnte gedeckt werden.

Die absolut entscheidende Rolle bei der Sicherung der Stromversorgung spielen die Schweizer Pumpspeicherkraftwerke und Speicherseen. Mit ihrer enormen Leistungs- und Energiekapazität (rund 10 GW und 8,8 TWh, Ausbau der Pumpspeicherkraftwerke auf über 6 GW) decken diese in kritischen Situationen den Grossteil der Stromversorgung in der Schweiz ab. Dies gilt vor allem für Extremfälle.

### **Notwendigkeit von Gaskraftwerken**

Gaskraftwerke sind nicht unbedingt notwendig. Sie können in einer Übergangszeit als Ersatz für die Kernkraftwerke sinnvoll sein, zum Beispiel für die Bereitstellung von Regelreserven. Selbst bei hohem Stromverbrauchszuwachs in der Schweiz könnten diese Kraftwerke aber umgerechnet nur zu rund 60 Prozent des Jahres voll ausgelastet werden, bei einem der BFE-Szenarien sogar nur zu 33 Prozent.

Gaskraftwerke würden zwar den Nettostromimport um 11 bis 17 Prozent verringern, der Erdgasimport würde sich allerdings um bis zu 75 Prozent im Vergleich zu heute erhöhen und Stromimporte wären trotzdem zusätzlich notwendig.

### **Potenzial der Photovoltaik in der Schweiz**

Eine Stromerzeugung aus Photovoltaik von 11,2 TWh pro Jahr, entsprechend dem 9-GW-Ausbauziel des BFE, würde

einem Flächenbedarf von etwa 17 Prozent (rund 80 km<sup>2</sup>, BFS) der verfügbaren Dachfläche (Industrie, Gewerbe / Wohnhäuser) in der Schweiz entsprechen.

Wenn dagegen 35 Prozent (rund 165 km<sup>2</sup>) der Dachfläche mit Photovoltaik-Anlagen ausgestattet wären, dann könnte (ohne zusätzliche Speicherseen) rund 95 Prozent der damit erzeugbaren elektrischen Energie (22 TWh) im Schweizer Stromnetz integriert werden unter der Voraussetzung, dass das Verteilnetz lokal angepasst wird. Dank 22 TWh aus Photovoltaik und 4 TWh aus Windenergie (sowie 4 TWh aus Geothermie) könnten im Jahr 2050 die Schweizer Kernkraftwerke in der Jahresbilanz vollständig kompensiert werden.

Die BFE-Annahmen gehen allerdings von einer eher optimistischen Sonneneinstrahlung aus (1250 Volllaststunden), während die gemeldeten Zahlen zur KEV-Vergütung bisher eher rund 900 Volllaststunden ergeben. Entsprechend diesen Daten müssten 12 GW statt 9 GW Photovoltaik-Anlagenleistung installiert werden, um die vom BFE angestrebte Energieerzeugung von 11,2 TWh pro Jahr zu ermöglichen. In diesem Fall, müssten die obigen Dachflächenwerte jeweils um rund ein Drittel erhöht werden.

### **Die Rolle der Pumpspeicher in der Schweiz**

In der Studie wird vorausgesetzt, dass die Pumpleistung der Pumpspeicherkraftwerke bis zum Jahr 2025 von 1,8 GW auf rund 6 GW ausgebaut und gleichzeitig die Energiekapazität der Pumpspeicher auf 200 GWh erhöht wird. Dies reicht für die Speicherung der in den BFE-Szenarien vorgesehenen Photovoltaik-Produktion. Wird deutlich mehr Strom aus Photovoltaik erzeugt, wäre dagegen ein weiterer Ausbau der Speicherkapazitäten sinnvoll, um die erzwungene Abschaltung von fluktuierender Stromerzeugung zu vermeiden.

Es ist anzunehmen, dass bis 2050 leistungsfähige Verfahren zum Lastmanagement im Industrie-, Gewerbe- und Haushaltsbereich als zusätzliches Speicherelement einen wichtigen Beitrag leisten können und neuartige Speicher zur Verfügung stehen, die in grossem Umfang Photovoltaik-Energie dezentral speichern können. Damit wäre ein weiterer Ausbau von Pumpspeicheranlagen wahrscheinlich vermeidbar und eine Verstärkung des Niederspannungsnetzes nur punktuell notwendig.

# Zusammenfassung

- Die Studie geht davon aus, dass alle für 2020 beziehungsweise 2025 geplanten Ausbauten im Bereich Netz und Pumpspeicherkraftwerke ausgeführt werden. Unter diesen Bedingungen reichen sowohl die nationalen wie auch die grenzüberschreitenden Leitungskapazitäten auch in Zukunft für die Landesversorgung aus.
- Allfällige Netzengpässe bei starkem Ausbau der Photovoltaik werden im lokalen Schweizer Verteilnetz (auf der tiefsten Netzebene) liegen.
- Bei einer Entwicklung von Produktion und Verbrauch gemäss den untersuchten BFE-Szenarien treten bis 2050 keine Versorgungsengpässe in der Schweiz auf.
- Dasselbe gilt sogar für ein Szenario mit signifikant höherem Verbrauch (IEA-Szenario, plus 50 Prozent). Dann sind aber Stromimporte von bis zu 20 TWh (mit europäischem Strommix) notwendig, was rund 30 Prozent des heutigen Stromverbrauchs entspricht.
- Die über die Eigenproduktion hinausgehende Stromverbrauchssteigerung in der Schweiz kann voraussichtlich für alle Szenarien durch Stromimporte zuverlässig gedeckt werden. In Europa wird gemäss heutiger Planung genügend Kraftwerksleistung verfügbar sein. Eine Selbstversorgung der Schweiz ist unter diesen Voraussetzungen nicht zwingend.
- Zusätzliche Gaskraftwerke können während einer Übergangsphase sinnvoll sein, sind aber nicht unbedingt notwendig. Sie reduzieren zwar den Stromimport, erhöhen aber die Abhängigkeit von Gasimporten und können nicht voll ausgelastet werden.
- Die entscheidende Rolle bei der Sicherung der Stromversorgung spielen die Schweizer Pumpspeicherkraftwerke und Speicherseen. Mit ihrer enormen Leistungs- und Energiekapazität decken diese den Grossteil der Stromversorgung in der Schweiz auch in kritischen Situationen ab. Der bereits geplante Ausbau ist deshalb notwendig.
- Die Strategie der Bewirtschaftung der Pumpspeicherkraftwerke wird sich gegenüber heute verändern müssen: nur beschränkte Produktion von Spitzenstrom, dafür Speicherung von Photovoltaik- und Windenergie.
- Den Investoren und Betreibern von Pumpspeicherkraftwerken müssen Bedingungen zugesichert werden, die es ihnen erlauben, ihre Werke auch in der veränderten Strategie der Bewirtschaftung längerfristig rentabel zu betreiben.
- Ein ehrgeizigerer Ausbau der Photovoltaik als in den BFE-Szenarien kann die Energieimporte – sowohl Strom als auch Erdgas – reduzieren und somit nachhaltig die Energiesicherheit der Schweiz erhöhen (durch höheren Selbstversorgungsgrad).
- Bei diesem Szenario wäre allerdings der Einsatz von zusätzlichen (möglicherweise dezentralen) Speicherkapazitäten sinnvoll, um die erzwungene Abschaltung von fluktuierender Stromerzeugung zu vermeiden.

## Weitere Informationen

Die zugrundeliegende, ausführliche Studie (in Englisch) mit allen Resultaten und Literaturangaben kann bei der SATW als PDF bezogen werden.

### Impressum

Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften

www.satw.ch

Juni 2014

Autoren: Farid Comaty, Andreas Ulbig und Göran Andersson (ETH Power Systems Lab) sowie Willy Gehrler und Rolf Hügli (SATW)

Redaktion und Gestaltung: Beatrice Huber

Bilder: Fotolia

# SATW

Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften

Académie suisse des sciences techniques

Accademia svizzera delle scienze tecniche

Swiss Academy of Engineering Sciences



Mitglied der  
Akademien der Wissenschaften Schweiz