



FAKTENBLATT VERSORGUNGSSICHERHEIT

Zusammenfassung

Eine der wichtigsten Prämissen für die erfolgreiche Umsetzung der Energiestrategie 2050 ist: egal auf welchen Strommix die Schweiz in Zukunft setzen wird, die Stromversorgung muss zu jedem Zeitpunkt gewährleistet sein. Die Vorstellung von einem Schweizer Strommix mit einem substanziellen Anteil an Photovoltaik löst bei vielen die Besorgnis aus, dass die unstete solare Stromproduktion das bislang hohe Niveau der Versorgungssicherheit gefährden kann. Doch diese Sorge ist unbegründet. Im Gegenteil: eine konsequente Umsetzung einer von der Umweltallianz geforderten 100% erneuerbaren Stromversorgung erhöht die Versorgungssicherheit.

Im Detail zeigt das vorliegende Faktenblatt Versorgungssicherheit die Zusammenhänge und bietet allen Interessierten die Möglichkeit, sich einen Einblick in die Debatte zu verschaffen. Hier die wichtigsten Erkenntnisse und Schlussfolgerungen auf einen Blick:

- Sämtliche Studien zeigen, bis zu 20% des heutigen Strombedarfs (10-12 TWh) können mit Photovoltaik gedeckt werden, ohne dass in zusätzliche Ausgleichskapazitäten wie Speicher oder weitere flexible Kraftwerkskapazitäten investiert werden muss. Die gute Ausgangslage, die bestehende Wasserkraft und der bereits geplante Ausbau der Pumpspeicherkraftwerke, bietet eine ideale Voraussetzung für einen optimalen Ausbau und die lückenlose Integration aller erneuerbarer Energien.
- Wenn der Photovoltaik-Anteil über die 20% hinaus geht, können allfällige Winter-Produktionsdefizite oder Produktionsüberschüsse mittels gezielten Anpassungen des Stromsystems aufgefangen werden.

Der zusätzliche Bau von Gaskraftwerken oder ein massiver Ausbau des Speicher-Bedarfs sind in jedem Fall unnötig. Denn es stehen eine ganze Reihe von weiteren umweltschonenden und kostengünstigen Massnahmen zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit zur Verfügung. Ihr Einsatz kann bedarfsgerecht an den Ausbaufortschritt der neuen erneuerbaren Energien angepasst werden:

1. Optimierung des Stromverbrauchs: vor allem Winterstromeffizienz, Glättung kurzfristiger Verbrauchsspitzen sowie Zusammenspiel zwischen Strom- und Wärme- bzw. Kälteanwendungen
2. Optimierung der Stromproduktion: vor allem Solaranlagen mit optimierter Ausrichtung und Spitzenlastbegrenzungen sowie Biogas- und Kehrichtverbrennungsanlagen mit Winterspitzen
3. Strategischer Austausch im europäischen Strommarkt: insbesondere Import von Windstrom oder Strom aus solarthermischen Anlagen. Diverse Schweizer Elektrizitätsversorger investieren schon heute in grössere Windparks und Solaranlagen im Ausland
4. Ausbau von zusätzlichen Speicherlösungen: Power to Gas, Batterie-Speicher und andere.

Eine konsequentere Politik zu Gunsten einer sicheren 100% erneuerbaren Stromversorgung ohne zusätzliche CO₂-Emissionen erhöht die Versorgungssicherheit, u.a. auch weil damit die Abhängigkeit von politisch unsicheren Gaslieferländern wie Russland und Aserbeidschan verringert wird.

Die gute Ausgangslage der Schweiz soll optimal für den Ausbau und die lückenlose Integration der erneuerbaren Energien genutzt werden. Längerfristig soll eine möglichst umweltschonende und kostengünstige Kombination der oben genannten vier Ansätze verwirklicht werden.



Inhaltsübersicht

100% erneuerbar und 100% sicher – geht das?	3
Das Schweizer Stromsystem heute	4
Import-Export zum Ausgleich saisonaler Schwankungen	5
Top-Down Stromnetz für Grosskraftwerke und Import-Export	6
Das Schweizer Stromsystem morgen	7
Versorgungssicherheit im Winter	7
<i>Die Rolle der fluktuierenden erneuerbaren Energien</i>	<i>7</i>
<i>Mögliche Beiträge der Stromeffizienz</i>	<i>9</i>
<i>Mögliche Beiträge von Erneuerbaren mit Winterspitzen aus dem In- oder Ausland</i>	<i>9</i>
<i>Mögliche Beiträge von zusätzlichen Speichertechnologien.....</i>	<i>10</i>
Versorgungssicherheit bei Produktionsausfällen und -überschüssen	10
<i>Umgang mit Produktionsausfällen.....</i>	<i>10</i>
<i>Umgang mit Produktionsüberschüssen.....</i>	<i>11</i>
Das Stromnetz von Morgen	12
<i>Aus Top-Down Netzen werden „bidirektionale“ und intelligente Netze.....</i>	<i>12</i>
<i>Wie viel Netzausbau braucht die Schweizer Energiewende?</i>	<i>13</i>
Fazit und Forderungen	14
Quellen und Links.....	15
Kontaktangaben & Logos	16



100% erneuerbar und 100% sicher – geht das?

Die 100PRO-Strategie der Umweltverbände baut auf zwei Hauptpfeilern auf: dem effizienten Umgang mit Energie und einer Vollversorgung mit erneuerbaren Energien. Spätestens im Jahr 2035 soll im Strombereich eine über das Jahr gerechnete Vollversorgung auf Basis von 100% erneuerbaren Energien erreicht werden. Der 100PRO-Strommix könnte dann so aussehen:

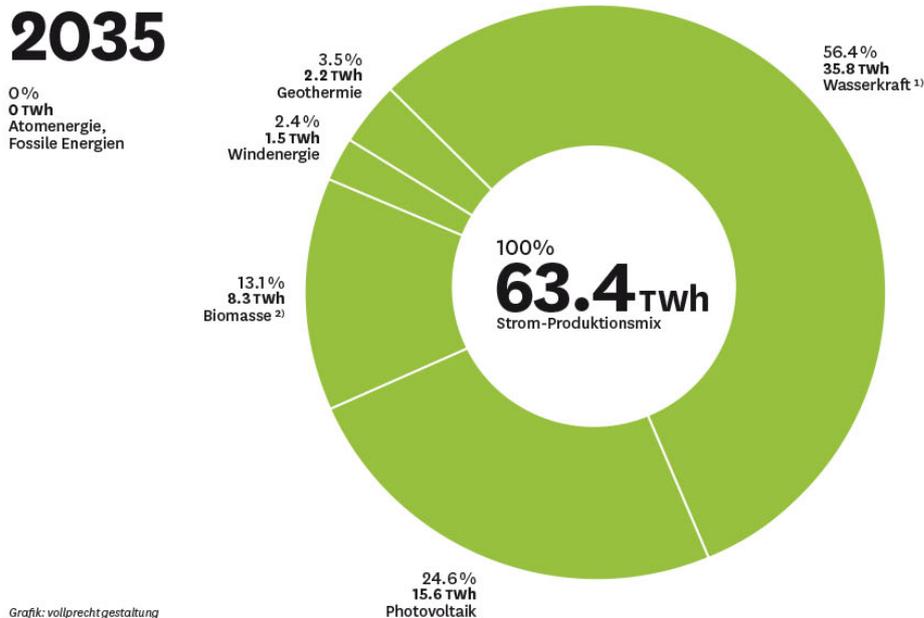


Abbildung 1: 100PRO-Strommix ohne Atomenergie und fossilen Kraftwerken. Quelle: [21]

Der 100PRO Strommix wird vor allem durch Wasserkraft, Photovoltaik und Biomasse (inkl. Abfallverwertung) geprägt. Die Gewährleistung der Versorgungssicherheit¹ wird folglich massgebend von der Frage abhängen, welchen Beitrag der hohe Anteil der fluktuierend produzierenden Photovoltaik zur Deckung des Stromverbrauchs leisten kann. Dabei müssen

- **kurzfristige** Produktions- oder Verbrauchsschwankungen von einigen Stunden,
- **mittelfristige** Schwankungen aufgrund länger anhaltender Wetterlagen (einige Tage) und
- **langfristige, saisonale** Produktions- und Verbrauchsunterschiede

ausgeglichen werden können.

Klar ist: dafür braucht es einen Umbau des Stromversorgungssystems. In Zusammenhang mit diesem Umbau wird oft behauptet, die Versorgungssicherheit könne mit einem Strommix alleine aus erneuerbaren Energien ohne Gas- und Atomkraftwerke nicht gewährleistet werden. Eine Behauptung, die von den aktuell verfügbaren Studien mit stundengenauen Modellierungen der zukünftigen Versorgungslage für verschiedene Stromversorgungs- und Nachfrageszenarien für die Schweiz **nicht** gestützt wird.

Im vorliegenden Faktenblatt erläutern wir die Herausforderungen der Versorgungssicherheit für Produktion, Verbrauch und Netze und zeigen auf, dass es in Zukunft im 100PRO-Mix keine fossilen Kraftwerke mehr braucht.

¹ Die inländische Stromproduktion muss zusammen mit den Importen sowohl in Bezug auf die nachgefragte Leistung als auch der nachgefragten Energiemenge jederzeit den Bedarf decken können.



Das Schweizer Stromsystem heute

Da im Stromnetz weder Über- noch Unterdeckungen vorkommen dürfen, musste beim Zubau der Atomkraftwerke sichergestellt werden, dass die praktisch nicht regulierbare Stromproduktion aus Laufwasser- und Atomkraftwerken auch dann Abnehmer findet, wenn die Nachfrage tief ist. Dies ist vor allem in der Nacht der Fall. Also wurden Abnehmer für den überschüssigen Strom geschaffen: Elektroheizungen und Pumpspeicherwerke. Schon heute bestehen also Strukturen, um kurz-, mittel- und langfristige Produktions- und Verbrauchsunterschiede auszugleichen.

Abbildung 2 zeigt, wie parallel zum Ausbau der Atomkapazitäten die Kapazitäten der Elektro-Speicherheizungen erhöht wurden (links). Dieser Ausbau wurde mit extra billigen Elektroheiztarifen flankiert (rechts): Wer den Band-Strom dann braucht, wenn er im Überfluss vorhanden ist, wird dafür belohnt. **Für den 100PRO Strommix sind subventionierte Stromverbraucher im Winter und in der Nacht nicht mehr erwünscht.**

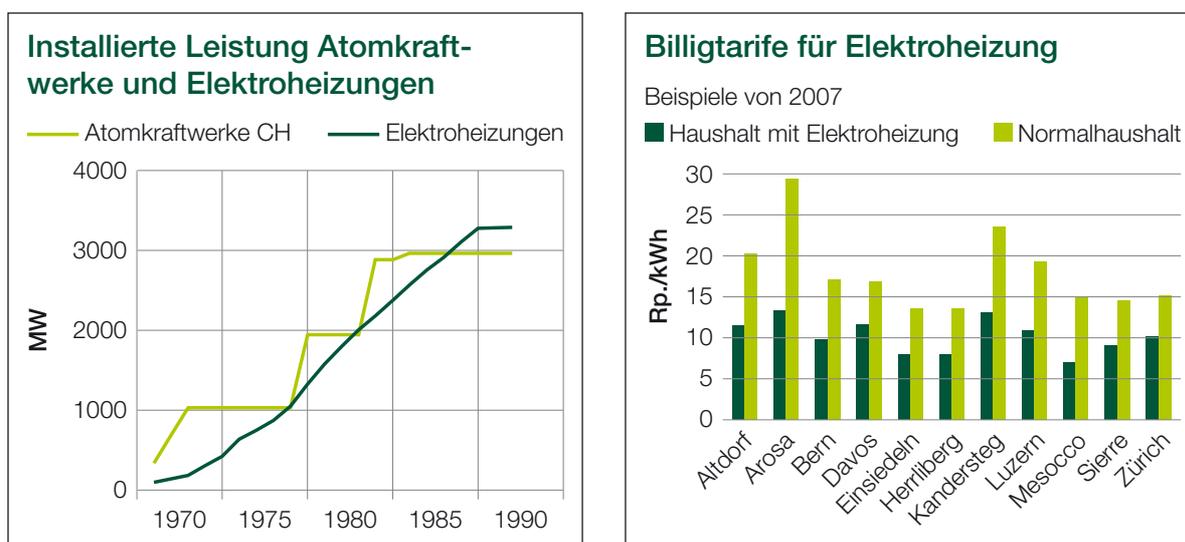


Abbildung 2: Aufbau der Elektroheizungskapazitäten in der Schweiz parallel zum Atomausbau (links) und als Beispiel die massiven preislichen Anreize für Elektroheizungen im Jahr 2007. Quelle: [9]

Eine ähnliche Entwicklung lässt sich für den Aufbau der Pumpspeicherkapazitäten beschreiben. Heute können diese mit 1.75 GW ein Mehrfaches der Leistung der drei alten AKW's aufnehmen. Auch sie laufen vorwiegend in der Nacht.

Die **Verbrauchsspitzen** am Tag werden heute mit flexiblen Lasten abgedeckt (vgl. folgende Abbildung 3 mit dem Produktionsverlauf für 4 exemplarische Tage im Jahr 2011). Abbildung 3 zeigt erstens, dass **die Speicherkraftwerke heute schon kurzfristig sehr grosse Leistungen zur Verfügung stellen – eine gute Voraussetzung für den 100PRO-Strommix**. Zweitens ist ersichtlich, dass aufgrund der variierenden Zuflüsse Laufwasserkraftwerke im Sommer eine deutlich höhere Bandlast aufweisen als im Winter; bei den Kernkraftwerken sind es die jährlichen Revisionen, welche die Bandlast im Sommer stark verringern.

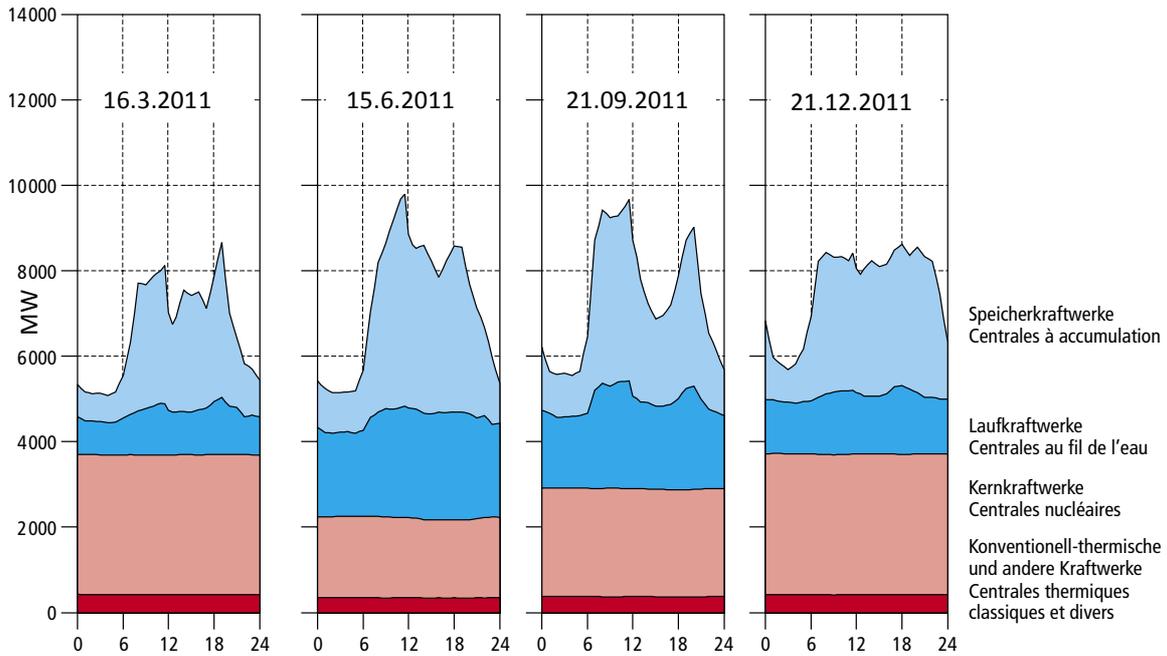


Abbildung 3: Erzeugung des Schweizer Kraftwerksparks an 4 exemplarischen Mittwochen im März, Juni, September und Dezember des Jahres 2011 (Quelle: Elektrizitätsstatistik 2011, S.30)

Import-Export zum Ausgleich saisonaler Schwankungen

Die **saisonale Versorgungssicherheit** wird heute in der Bilanz durch Importe und Exporte gewährleistet, wie aus der folgenden Abbildung deutlich wird:

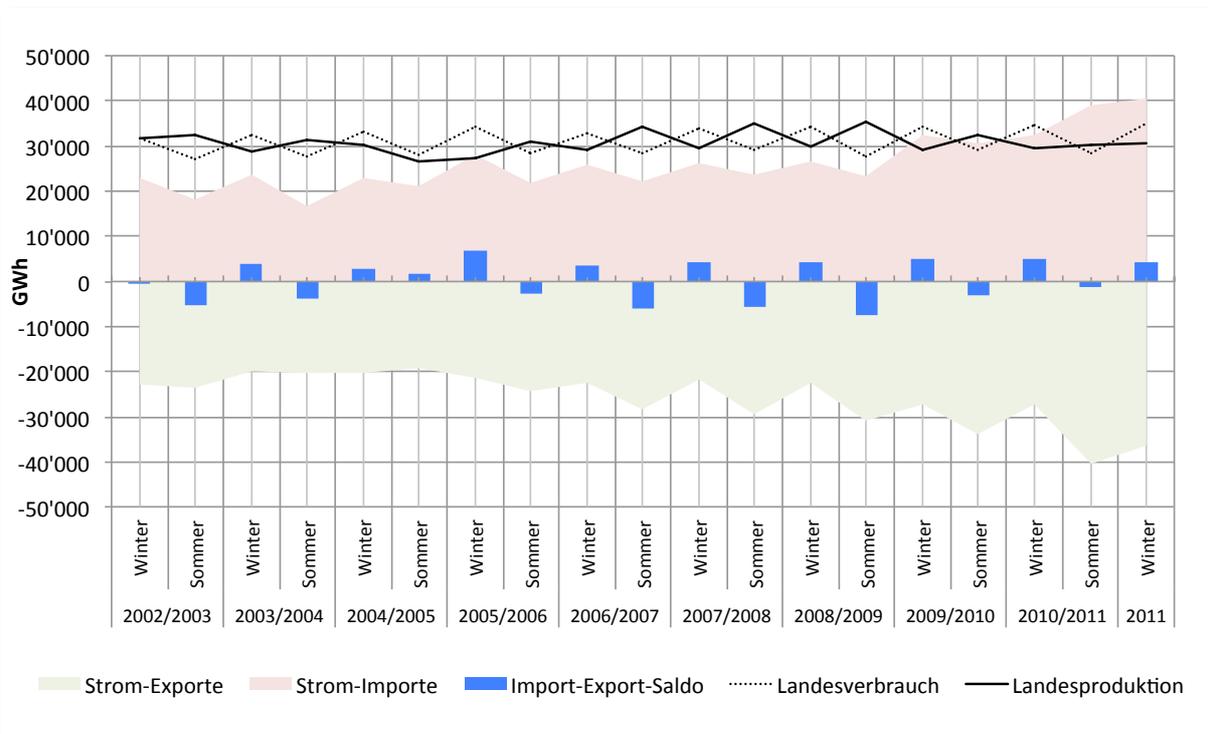


Abbildung 4: Halbjährlicher Stromverbrauch und Stromproduktion (schwarze Linien) sowie Importe und Exporte für die Schweiz, Winter 2002 bis Winter 2011 (Quelle: Elektrizitätsstatistiken 2002 bis 2011, Darstellung Greenpeace)



Abbildung 4 zeigt, dass die Schweiz im regen Stromaustausch mit anderen Ländern steht. Es wird etwa gleich viel Strom importiert und exportiert (rote und grüne Flächen), wie im Land verbraucht wird (gepunktete Linie). Im Winter wurde in allen gezeigten Jahren netto Strom importiert (blaue Balken), um den Unterschied zwischen dem Landesverbrauch und der Landesproduktion (durchgezogene Linie) auszugleichen. Im Winter 2005/2006 wurden mit 6'931 GWh mehr als 20% des Landesverbrauchs netto importiert.

Im europäischen Kontext gibt es in absehbarer Zeit keinen Winterstrommangel. Europa verfügt aktuell über einen Kraftwerkspark, der deutlich mehr Strom produzieren kann, als im Winter verbraucht wird. So könnte sich das Stromimportland Nr. 1 (Italien) selbst mit Strom versorgen. Dies wird jedoch nicht gemacht, weil insbesondere die zahlreichen Ölkraftwerke – analog zu jenem in Chavalon (CH) – aus wirtschaftlichen Gründen nicht mehr betrieben werden. Eine ausreichende Winterstromversorgung ist also heute eine Frage des Preises, den man bereit ist, zu bezahlen.

Top-Down Stromnetz für Grosskraftwerke und Import-Export

Das heutige Schweizer Stromnetz ist auf die beschriebenen Strukturen hin optimiert worden: **Die Schweiz verfügt über ein auf Grosskraftwerke und Import-Export-Ströme optimiertes Stromnetz mit riesigen Grenzkapazitäten.** Dieses sorgt dafür, dass die grossen Strommengen von Grosskraftwerken zu den Grenzkoppelstellen und zu den Verbrauchern geleitet werden (vgl. folgende Abbildung). Zu den Verbrauchern gehören auch die Pumpspeichieranlagen, welche heute auf der höchsten Netzebene direkt mit den Grosskraftwerken und den Grenzkoppelstellen verbunden sind.

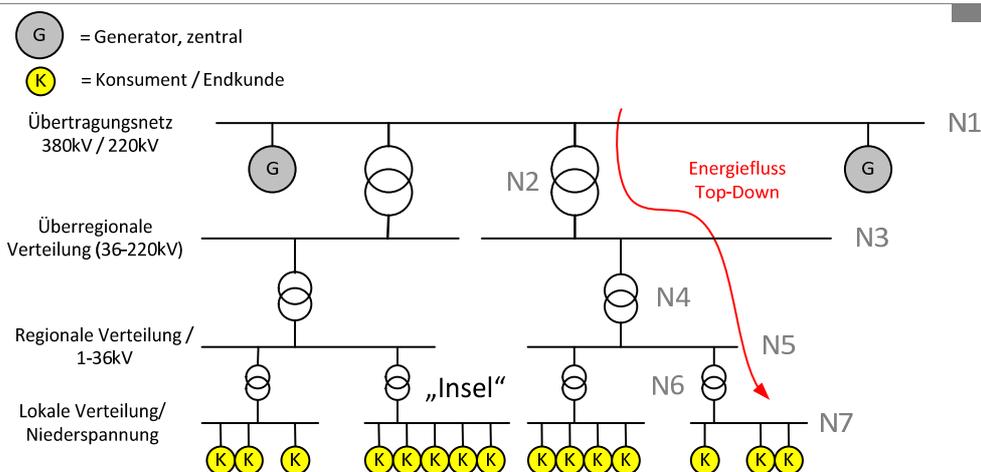


Abbildung 5, Netzarchitektur heute, Quelle: Super Computing Systems 2013 [18]

Kein anderes Land hat ein so dicht ausgebautes Stromnetz wie die Schweiz. Wir verfügen über 6'700 Kilometer Hochspannungsleitungen auf 12'000 Masten, 245'000 Kilometer Verteilnetz und über 40 Grenzkuppelstellen ins Ausland [20]. Unsere Grenzkapazitäten sind so gross, dass wir bei einem hypothetischen Vollaussfall aller inländischen Kraftwerke theoretisch den gesamten Verbrauch mit Importen decken könnten [ebd.].

Die Schweiz ist im europäischen Vergleich Transitland Nr.2 nach Deutschland [2] und spielt eine bedeutende Rolle für die Erhaltung der Netzstabilität. Unvorhergesehenen Ausfälle von Netzteilen oder Kraftwerken, der Abfall der Spannung oder der Frequenz im Netz können zur Folge haben, dass ganze Regionen vom Netz geworfen werden müssen, um ein weiträumiges Blackout zu verhindern. Die Schweiz verfügt aber auch im Winter über deutlich höhere rasch abrufbare Produktionskapazitäten



als Verbraucher. Sie ist zudem stark mit allen Nachbarländern über unzählige Trassen verbunden. Folglich ist unwahrscheinlich, dass die Schweiz bei einem Störfall abgeworfen würde, weil sich dann die Situation für die restliche Gebiete sogar noch verschlechtert.

Das Schweizer Stromsystem morgen

Um zukünftig mit 100% erneuerbaren Energien die Versorgungssicherheit gewährleisten zu können, müssen die alten Strukturen angepasst und das Stromsystem insgesamt flexibler werden. Ziel muss es sein, wie heute kurz-, mittel- und langfristige Differenzen zwischen Produktion und Nachfrage zu jeder Zeit ausgleichen zu können. Dabei treten in der 100PRO-Zukunft drei Herausforderungen in den Vordergrund:

1. Die Sicherstellung der Versorgungssicherheit im Winter.
2. Der Umgang mit kurzfristigen Schwankungen, hier vor allem der Umgang mit Erzeugungsspitzen im Sommer, welche die Nachfrage deutlich übertreffen.
3. Die Anpassung der Netze für die optimale Integration von erneuerbaren Energien und eine gesteigerte Energieeffizienz.

Versorgungssicherheit im Winter

Die Rolle der fluktuierenden erneuerbaren Energien

Photovoltaikanlagen und Laufwasserkraftwerke haben ihre Produktionsschwerpunkte im Sommer, wenn der Stromverbrauch eher tief ist. Im Winter dagegen ist die Produktion der Wasser- und der Sonnenkraftwerke aufgrund der tiefen Zuflüsse und der geringeren Solarstrahlung eher tief, während der Verbrauch traditionellerweise höher ist (vgl. Abbildung 6).

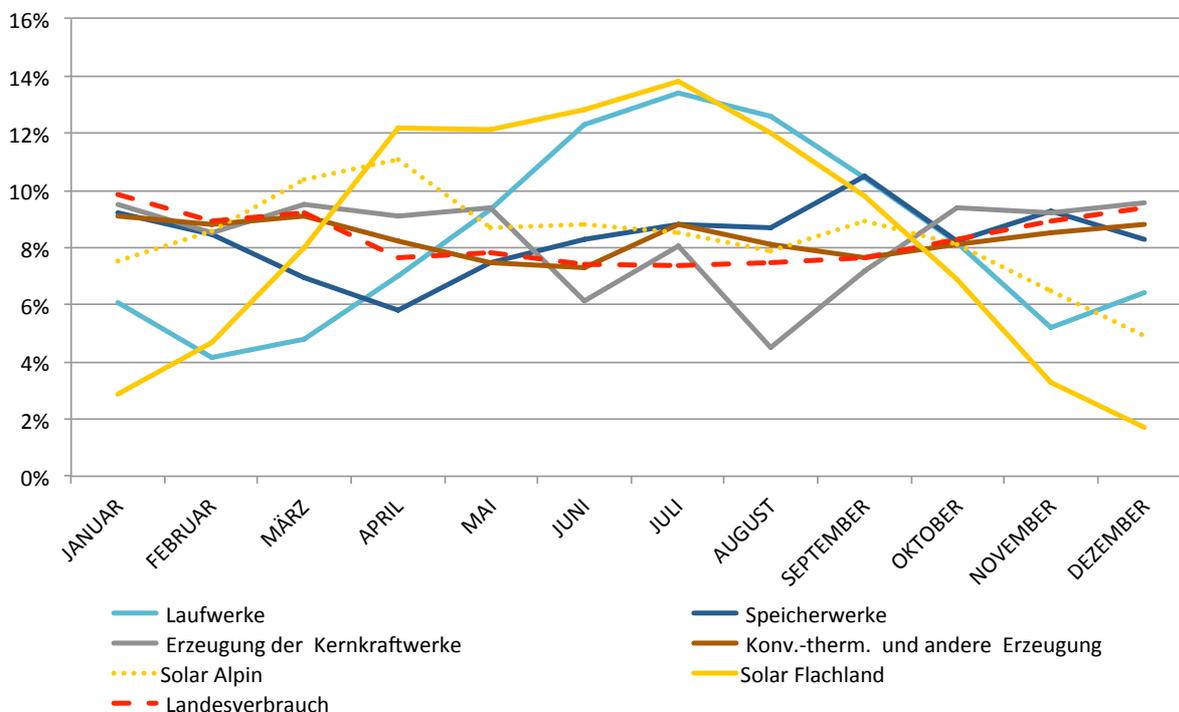


Abbildung 6: Monatliche Produktionsanteile (an der Jahresproduktion) der einzelnen Technologien sowie monatliche Verbrauchsanteile am Jahresverbrauch im Jahr 2011 (Quellen: [6]; Werte für Solarerzeugung: [16]; Darstellung Greenpeace.

Die stundengenauen Modellierungen für verschiedene zukünftige Stromversorgungsszenarien zeigen in allen verfügbaren Studien, dass die Schweiz in einer sehr guten Ausgangslage ist. Die Experten von Pöyry Management Consulting AG schreiben in ihrer für den Verband Schweizerischer Elekt-



rizitätsunternehmen (VSE) durchgeführt Analyse, dass die Schweiz „aufgrund des hohen Anteils der Wasserkraft an der Stromerzeugung“ gut positioniert sei, „um im grösseren Umfang mit der zunehmend schwankenden Einspeisung aus Wind- und Solarkraft umzugehen“. Und weiter: „Im Vergleich zu den anderen Ländern besteht lediglich eine moderate Notwendigkeit für den Umbau des Erzeugungssystems“ [14, S.11 und 36].

Im Folgenden sind die Erkenntnisse aus 6 aktuellen Studien zusammengefasst:

Studie	Art der Berechnung	Resultate für die Beurteilung der saisonalen Versorgungssicherheit
[13] Nordmann und Remund (2012): Entwicklung des Speicherbedarfs im Laufe des Ausstiegs aus der Kernenergie unter der Annahme, dass Photovoltaik 70% des Atomstroms ersetzt.	Stunden genaue ganzjahres-Modellierung für drei Szenarien mit 6, 12 und 18 TWh/a Solarstrom und 1.2, 2.4 bzw. 3.9 TWh/a Windstrom für den Ersatz der Kernenergie. Die Verbrauchs- und Wetterdaten basieren auf den Werten der Jahre 2008 bis 2011.	<p>→ 6 TWh/a PV-Strom und 1.2 TWh/a Windstrom können ohne zusätzliche Speicher ins heutige Strom-System integriert werden, ohne Veränderung der Import-Export Bilanz 2008-2011.</p> <p>→ Eine Verdoppelung der PV-Einspeisung auf 12 TWh/a (und 2.4 TWh/a Wind) führt dazu, dass 15% zusätzliche Speicherleistung bzw. 1.3 TWh zur Umlagerung vom Sommer auf den Winter gebraucht würden, wenn keine erhöhten Importe in Betracht gezogen werden.</p> <p>→ Eine weitere Erhöhung auf 18 TWh/a PV-Einspeisung (und 3.9 TWh/a Wind) führt dazu, dass die Speicherkapazitäten um 30% oder 2.6 TWh ausgebaut werden müssten, ohne das Import-Export Saldo der Jahre 2008-2011 zu verändern.</p>
[15] PROGNOSE (2012): „Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050“ (Anhang II.3 fluktuierende Stromerzeugung; S. 790 ff)	Stunden genaue ganzjahres-Modellierung von Stromnachfrage und Stromangebot anhand der realen Wetterdaten der vergangenen Jahre und detaillierten Annahmen für die zukünftigen Entwicklungen.	<p>→ Mit 11.12 TWh/a PV-Strom (Szenario neue Energiepolitik, Stromangebotsvariante C+E) entsteht zu keiner Zeit eine Unterdeckung im System. Allerdings werden in diesem Szenario im Sommer PV-Produktionsspitzen ab geregelt und eins bis zwei Gaskraftwerke für den Winter eingesetzt. Wenn die gesamte PV-Produktion im Sommer gespeichert und im Winter statt der Gaskraftwerke eingesetzt werden soll, bräuhete es rund 0.97 TWh/a zusätzliche Speicherkapazität. Optionen zur Optimierung des Systems mittels Demand-Side-Management, Peak-Shaving oder verbesserte Ausrichtung von PV-Anlagen, Einsatz von Batterien sowie auch die heute schon rege genutzte Option von Importen und Exporten wurden ausgeschlossen.</p>
[7] ETH (2011): Energiezukunft Schweiz	Exemplarische Betrachtung für die ganzjährige Versorgungssicherheit anhand von stundengenauen Simulationen für mehrere Tage	<p>→ Die Autoren schreiben: „Bis 2040 sind über die Pumpspeicherwerke hinaus keine zusätzlichen Speicher nötig“ (S.30). Bis zu diesem Zeitpunkt sind im Szenario der ETH-Studie knapp 10 TWh/a Solarstrom am Netz.</p> <p>→ Für höhere Solarstromanteile werden dann zusätzliche Speicher gebraucht, wobei die Autoren davon ausgehen, dass bis dahin solche zu akzeptablen Preisen zur Verfügung stehen werden.</p>
[14] Pöyry (2012): Angebot und Nachfrage nach flexiblen Erzeugungskapazitäten in der Schweiz (Studie im Auftrag des VSE)	Stunden genaue ganzjahres-Modellierung von Stromnachfrage und Stromangebot anhand der realen Wetterdaten der Jahre 2005 bis 2010 sowie einer detaillierten Abbildung der Schweiz im europäischen Strommarkt.	<p>→ Im Modell werden Importe und Exporte mitgerechnet und jeweils aus Sicht des europäischen Gesamtsystems und der Schweiz optimiert. Die detaillierte Analyse zeigt für alle Szenarien, dass der flexible Austausch mit den anderen Ländern zunehmen kann und ein wichtiges Rückgrat der Versorgungssicherheit sein wird.</p> <p>→ „In Szenario 3 (Anm.: mit 15 GW / 14 TWh/a Solar und 2 GW / 2 TWh/a Wind im Jahr 2050) besteht aufgrund des geringen Nachfragewachstums sowie des höheren Zubaus an Erneuerbaren v.a. nach 2035 kein Bedarf an zusätzlicher Erzeugung aus Gaskraftwerken“ (S.41). Die Schweiz wird „aufgrund der hohen Erzeugung aus erneuerbaren Energien“ bis 2050 sogar Nettoexporteur (ebd.).</p>
[10] Grüne Schweiz (2012): Energiestrategie 2050 der Grünen, Version 1.7	Stunden genaue ganzjahres-Modellierung von Stromnachfrage und Stromangebot für verschiedene Stromversorgungsvarianten anhand der realen Wetterdaten des Jahres 2009.	<p>→ Der Bedarf an saisonaler Speicherung steigt unter der Annahme, dass ein Import-Export im heutigen Rahmen beibehalten wird. Im Szenario Energie-Reform mit der hohen Nachfrage und der hohen fluktuierender erneuerbarer Energien (17.7 TWh/a aus PV und 4.8 TWh/a aus Wind) um rund 1.5 TWh/a. Im Szenario Kurs-Wechsel (13.8 TWh/a aus PV und 2.2 TWh/a aus Wind) sind es ca. 1 TWh/a. Um diese Mengen umzulagern, könnten die bestehenden Speicher um 1 bis 1.5 TWh (12-17%) erhöht werden, wobei die Klimaerwärmung wegen der früher einsetzenden Schneeschmelze diesem Ausbaubedarf entgegen wirken wird. Andere Optionen sind die Erhöhung von Importen, der Bau von mehr PV-Anlagen in den Bergen, ein erhöhter Ausbau der Windkraft, eine Erhöhung der Stromeffizienz oder der</p>



Studie	Art der Berechnung	Resultate für die Beurteilung der saisonalen Versorgungssicherheit
[19] Swisscleantech (2012): Cleantech Energiestrategie, V 3.0	Exemplarische Betrachtung der Monatssaldi unter Einbezug von stundengenauen Analysen	Zubau von fossilen Kraftwerken (für Quantifizierungen siehe S. 29ff). → Das Swisscleantech-Szenario sieht im Jahr 2050 eine PV-Produktion von rund 22.5 TWh/a und eine Windstrom-Produktion von rund 7.1 TWh/a vor. Um damit die saisonale Versorgungssicherheit zu garantieren, wird die Option von erhöhten Windenergieimporten im Herbst und im Frühling vorgeschlagen. Damit liesse sich die Speicherseenutzung auf die kritischen Monate November bis März hin optimieren und jeder Zeit die Versorgung sicherstellen. Die netto Importe betragen jährlich rund 2.7 TWh.
<p>FAZIT:</p> <p>Die Versorgungssicherheit kann im 100PRO-Szenario der Umweltverbände jederzeit gewährleistet werden:</p> <p>→ 6 bis 10 TWh PV-Strom pro Jahr (das sind 10% bis knapp 17% des heutigen Strombedarfs) können ohne weitere Anpassungen ins Stromnetz integriert werden.</p> <p>→ 12 TWh PV-Strom pro Jahr (20% des heutigen Strombedarfs – 100PRO-Zielwert für 2025) können ohne zusätzliche saisonale Speicherkapazitäten zum Preis einer geringfügigen Erhöhung des langjährigen Import-Saldos der Schweiz integriert werden.</p> <p>→ Mehr als 12 TWh PV-Strom pro Jahr können integriert werden, wenn zusätzliche Anpassungen vorgenommen werden. Es wird eine erhöhte Stromeffizienz im Winter, erhöhte Beiträge von erneuerbaren Energien mit Winterspitzen aus dem In- oder Ausland oder zusätzliche Speicherkapazitäten brauchen, um jederzeit eine sichere Versorgung gewährleisten zu können. Von einem massiven Speicher-Ausbaubedarf oder einer drohenden Winterlücke kann aber nicht die Rede sein.</p>		

Die im Folgenden beschriebenen Handlungsoptionen stehen zur Verfügung, um allfällige verbleibende Winter-Produktionsdefizite auszugleichen.

Mögliche Beiträge der Stromeffizienz

Massnahmen zur Steigerung der Stromeffizienz sind besonders zentral, wenn es darum geht, die Versorgungssicherheit zu erhöhen bzw. mögliche Unterdeckungen oder eine vergrösserte Importabhängigkeit zu vermeiden. Dies vor allem im Winter. Alleine mit dem Ersatz von Elektroheizungen kann gegenüber heute knapp 3 TWh Winterstrombedarf vermieden werden [12, 17]. Wenn eine erhöhte Stromeffizienz auf allen Ebenen konsequent umgesetzt würde (Ersatz elektrischer Boiler sowie effizientere Umwälzpumpen von Heizungen, Beleuchtungen und elektrische Geräte), könnten insgesamt schätzungsweise 6 TWh Winterstrom (das sind 10% des gesamten Verbrauchs oder 17.5% des Winterstrombedarfs im Jahr 2011) eingespart werden [ebd.].

Mögliche Beiträge von Erneuerbaren mit Winterspitzen aus dem In- oder Ausland

Ebenso könnten **Erneuerbare mit Winterspitzen stärker ausgebaut oder erhöhte Winterimporte** getätigt werden. Zu den neuen Erneuerbaren mit Winterspitzen zählen:

- Die Windkraft (rund zwei Drittel der Produktion fallen im Winter an), welche im Inland optimiert oder aus dem windreichen Norden importiert werden kann. Schon heute investieren Schweizer Elektrizitätsversorger in Windkraftanlagen im Ausland (so z.B. ewz, EKZ und IWB). Voraussetzung für Importe aus weit entfernten Windstandorten sind Übertragungsleitungen auf Gleichstrombasis, die den verlustarmen Transport von Strom über weite Distanzen ermöglichen.
- Die Biomasse (inkl. Abfallverwertung), deren Nutzung auf den Winter hin optimiert werden kann, so dass zwei Drittel der Jahresproduktion auf den Winter fallen (Produktion von Strom und Wärme in Biomasse-WKK).
- Die Geothermie, welche in Zukunft eine sichere und steuerbare Winterleistung zur Verfügung stellen wird.



Mögliche Beiträge von zusätzlichen Speichertechnologien

Prinzipiell können auch **zusätzliche Kapazitäten aus Langfristspeichern** beigezogen werden. Dies ist möglich durch eine allfällige Erhöhung von Speicherseemauern oder andere Speicherkonzepte, z.B. auf Basis von synthetisiertem Wasserstoff oder Methan (Power-to-Gas), Redox-Flow-Batterien, Druckluftspeichern oder elektro-thermischen Energiespeichern. Die folgenden Kurzbeschriebe der möglichen zusätzlichen Speichertechnologien verdeutlichen, dass verschiedene Optionen zur Verfügung stehen, wenn der Bedarf in Zukunft notwendig ist.

- **Power-to-Gas:** In Zeiten mit überschüssigem erneuerbarem-Strom wird Wasserstoff und/oder synthetisches Methan (Erdgas) produziert, das dann im Erdgasnetz zwischengespeichert und im Winter in Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen in Strom und Wärme umgewandelt werden kann. Dieses Verfahren wird heute schon vom deutschen Energieversorger greenpeace energy in Kombination mit Windkraftwerken eingesetzt. Das synthetisierte Gas kann auch zur Substitution von fossilen Energien in anderen Verbrauchssektoren verwendet werden: im Verkehr und für Prozesse mit Hochtemperaturwärme. Der Wirkungsgrad der Umwandlung von Strom zu Gas beträgt rund 70%, von Strom zu Gas zu Strom dann nur noch knapp 40%. Das Verfahren hat noch grössere Verbesserungspotenziale, ist allerdings in Gross-Anlagen noch nicht bestätigt.
- **Redox-flow-Batterien:** Da die Energie bei diesen Batterien in chemischen Tanks (Elektrolyte-Tanks) ausserhalb der Batterien gespeichert wird, kann diese für langfristige Zeiträume eingesetzt werden. Die Energiedichte ist mit 90 Wh/Liter relativ hoch, was die prinzipielle Speicherung grösserer Mengen erlaubt. Die Energieeffizienz kann 90% und mehr betragen.
- **Druckluftspeicher (CAES):** In Zeiten mit überschüssiger Energie wird Luft komprimiert und in Kavernen bei hohem Druck gespeichert. Beim Entweichen der Luft kann dann ein Generator angetrieben werden. Die Energiedichte beträgt rund 2-5 Wh/Liter und ist damit viel geringer als bei den Redox-Flow-Batterien. Die Energieeffizienz beträgt 40% bis zu 70%, wenn die Wärme, die beim Komprimieren der Luft anfällt, gespeichert und danach für die Entspannung der Luft wieder genutzt werden kann (adiabatische Druckluftspeicher).
- **Elektro-Thermische-Energiespeicher:** Diese Kategorie steht für Speicherkonzepte, die in Erforschung sind. Die ABB entwickelt ein neuartiges Speichersystem „TEES“. Überschüssiger Strom wird in Form von Wärme gespeichert, die dann wiederum in Strom zurück transformiert werden kann. Dabei kommen keine giftigen Stoffe zum Einsatz (Speichermedium ist Wasser), die Energieeffizienz soll 60-70% pro Speicherzyklus betragen und Grössenordnungen von 5MW / 20 MWh oder sogar 50MW / 400 MWh sollen realisierbar sein. Es besteht allerdings noch keine Pilotanlage.

Versorgungssicherheit bei Produktionsausfällen und -überschüssen

Umgang mit Produktionsausfällen

Die Schweiz ist für den Ausgleich von kurz- und mittelfristigen **Produktionsausfällen** in einer sehr guten Ausgangslage. Heute schon kann mit den verfügbaren Wasserkraftwerken mit einer maximalen Generatoren-Leistung von 13.7 GW und einem max. Speichervolumen von 8.8 TWh (das sind 15% des jährlichen Stromverbrauchs), kurz- und auch mittelfristig der maximale Stromverbrauch gedeckt und die Spannungshaltung gewährleistet werden [6]. Dies selbst dann, wenn alle anderen Produktionsarten ausfallen würden. Die folgende hypothetische Rechnung soll diese komfortable Ausgangslage verdeutlichen: Die Nachfragelast betrug im Jahr 2011 maximal 10.4 GW [3] und der durchschnittliche Tagesstromverbrauch beträgt je nach Wochentag und Saison ca. 0.154 (im Juli) bis 0.209 (im Januar)



TWh [6]. Die Schweiz kann also bei vollen Speicherseen (der höchste Füllstand wird normalerweise im Spätherbst erreicht), rein rechnerisch für mindestens 42 Tage den hohen Stromverbrauch decken. Beim niedrigsten Speicherstand des Jahres 2011 (Anfang April war mit 16% der Füllmenge der niedrigste Stand erreicht), reicht die hypothetisch verfügbare Energiemenge für mindestens 7 Tage mit maximalem Stromverbrauch.

Die Rechnung ist hypothetischer Natur – die Speicherseen werden nicht gänzlich leer gelassen und es ist unwahrscheinlich, dass sämtliche anderen Produktionsarten und Wasserzuflüsse für längere Zeit ausfallen. Die Rechnung zeigt aber deutlich, dass die Schweiz aufgrund der verfügbaren Leistung der Wasserkraftwerke für kurz- und mittelfristige Zeiten mit geringen Solar- und Windstrommengen sehr gut gewappnet ist.

Wenn nun aber hohe Solarstromanteile zur Verfügung stehen, stellt sich die Frage, wie mit **kurzfristigen Produktions-Spitzen**, welche die Nachfrage deutlich übertreffen, umgegangen werden soll.

Umgang mit Produktionsüberschüssen

Im 100PRO-Strommix der Umweltallianz produzieren Solarstromanlagen im Jahr 2025 mindestens 12 TWh pro Jahr und im Jahr 2035 mindestens 15 TWh pro Jahr, d.h. längerfristig ist mit einer PV-Erzeugungsleistung von 15 GW zu rechnen. Man kann davon ausgehen, dass maximal zwei Drittel der Nominal-Leistung aller Anlagen gleichzeitig am Netz sind [13] (etwa 15% gehen durch Umwandlungsverluste bis zur Netzeinspeisung verloren, die restliche Differenz lässt sich durch unterschiedliche Lage, Ausrichtungen und Neigungen der Anlagen erklären). Von den installierten 15 GW werden also maximal 10 GW gleichzeitig am Netz sein. Zusammen mit den begrenzt regulierbaren Laufwasserkraftwerken erhöht sich die Produktionslast ohne Massnahmen auf maximal 13 GW. Ein weiteres GW könnte durch Windkraftanlagen und nicht gänzlich ab regelbare Biomassekraftwerke hinzukommen.

Somit stünden ohne Massnahmen an einem schönen und windigen Sommer-Wochenende rund 14 GW Kraftwerksleistung einer Nachfrage von ca. 6 GW gegenüber. Folgende Massnahmen helfen, dieses Ungleichgewicht zu beseitigen:

- **Peak-Shaving und optimierte Ausrichtung:** Die kurzfristig auftretenden Spitzen von Solaranlagen können durch Massnahmen weiter reduziert werden. Die temporäre wetterabhängige Limitierung von Leistungsspitzen auf z.B. 70% der Maximalleistung (= peak-shaving)² und die verbesserte Ausrichtung der Anlagen auf Morgen- und Abendstunden sowie die Winter-Stromproduktion³ bringen eine weitere Spitzenleistungs-Reduktion von rund 2 GW.
- **Demand Side Management (DSM):** Durch DSM lassen sich etwa 1 GW flexible Verbrauchslasten auf die Zeiten der höchsten Kraftwerksleistung verlagern [13].
- **Einsatz der Pumpspeicherwerke:** Die nach Tägung der oberen Massnahmen verbleibende Differenz zwischen Produktions- und Verbrauchslast von rund 5 GW, können durch den gezielten Einsatz von Pumpspeicherwerken oder längerfristig allenfalls durch Batteriespeicher aufgefangen werden. Aktuell sind mehrere Pumpspeicherwerke in Bau, sodass im Jahr 2025 insgesamt rund 4 GW⁴ aufgenommen werden können. Damit sind wir in absehbarer Zeit gut ausgerüstet, um hohe Produktionsüberschüsse aufnehmen zu können. Mit Batteriespeichern eröffnen sich weitere Möglichkeiten:

² Diese Massnahme kann mit intelligenten Wechselrichtern schon heute implementiert werden, die Anreize hierzu fehlen momentan allerdings. Über das Jahr gerechnet führt eine solche Leistungsbegrenzung gemäss [11] zu einem Produktionsverlust von 3-5%.

³ Ost-West-Ausrichtung und Anlagen mit vertikaler Neigung im Alpenraum

⁴ Zusätzlich zu den heute bestehenden 1.75 GW sind aktuell Linthal 2015 mit 1 GW, Nante der Drance mit 0.9 GW und Hongrin mit 0.24 GW im Bau (Total in Betrieb und Bau: 3.89 GW). In Planung sind: Lago Bianco mit 1 GW, Grimsel 3 mit 0.66 GW, Val d'Ambra mit 0.07 GW, Verzasca II mit 0.3 GW und ArgessIMO mit 0.12 GW (Vollausbau = 6.04 GW).



- **Weitere Speichertechnologien (vgl. auch S.9):** Batterien und andere Speicher eignen sich prinzipiell gut zur Glättung von kurzfristigen Produktionsspitzen am Ort der Produktion und somit auch zur Entlastung der Netze. In Deutschland werden immer mehr Solarsysteme mit integrierten Speichern verkauft (vgl. dazu z.B. [8]). Die Autoren der ETH-Studie zur Energie-zukunft [7] schreiben zum Thema Batteriespeicher, dass bei einer PV-Leistung von 14 GW plus etwa 4 GW aus Wind und Laufwasserkraftwerken und einer Nachfragespitze von 10 GW sowie einer zuschaltbaren Pumpspeicherleistung von 5 GW, für weniger Stunden „schliesslich nur 3 GW“ verbleiben, die „zusätzlich zwischengespeichert werden müssen. Dazu bräuchte es Batterien mit etwa 12 GWh Speicherkapazität (d.h. etwa 1.33 kWh pro Kopf), was bei den erwarteten Kosten zu diesem Zeitpunkt kein Problem darstellen dürfte“. (ebd. S. 27)

Bei Verwendung der heute üblichen Technologie ist der Einsatz von Batterien, so lange wir ungenutzte Demand-Side- und Pumpspeicherkapazitäten haben, aus ökologischer Sicht kritisch zu betrachten. Aber auch aus ökonomischer Sicht, ist heute ein Ausbau von Verteil- und Übertragungsnetzen vor dem Einsatz von dezentralen Batteriespeichern zu bevorzugen (vgl. [3], [1]). Wenn Batterien in Zukunft etwas zur Entlastung der Netze beitragen sollen, dann müssen diese zentral oder mittels minutengenauer Marktpreise (dynamic pricing) gesteuert werden. Ziel muss es sein, den produzierten Strom, so gut möglich direkt zu verbrauchen bzw. erst dann in eine Batterie zu leiten, wenn Erzeugungsüberschüsse nicht mehr zu anderen Verbrauchern geleitet werden können. Auch power-to-gas Speicher könnten in ferner Zukunft Erzeugungsüberschüsse aufnehmen.

Das Stromnetz von Morgen

Das Stromnetz von morgen ist vielfältiger, dezentraler, intelligenter und seine Steuerung wird anspruchsvoller im Vergleich zum heutigen Netz. Das bestehende Stromnetz, das mit Blick auf die Bedürfnisse zentraler Kraftwerke, internationalem Stromhandel und eher statischer Verbraucher ausgelegt wurde, wird für die Energiewende auf dezentrale Klein- und Kleinstkraftwerke und flexible Verbraucher hin optimiert werden. Ein Vorteil des Netzes der Zukunft liegt darin, dass die Produktionsanlagen nahe an den Verbrauchszentren gebaut werden, was tendenziell den Netzausbaubedarf verringert.

Aus Top-Down Netzen werden „bidirektionale“ und intelligente Netze

Der Stromfluss, vormals immer Top-Down, wird in Zukunft auch Bottom-Up fließen. Dies führt zu höheren Anforderungen im Bereich der Netzsteuerung, primär im Bereich der Lastregelung. Das zukünftige Stromnetz integriert sämtliche Akteure auf dem Strommarkt in ein Gesamtsystem. Neben den heute schon flexibel eingesetzten Speicher- und Pumpspeicherwerken werden in Zukunft auch die Verbraucher sowie sämtliche dezentralen Produktionsanlagen und Speicher mit einbezogen. Dazu müssen Zustandsinformationen und Lastflussdaten aus den einzelnen Netzelementen, wie z. B. Erzeugungsanlagen, Verbrauchern (Haushalte oder Industrieanlagen) oder auch Transformatorenstationen in Echtzeit abgerufen und verarbeitet werden.

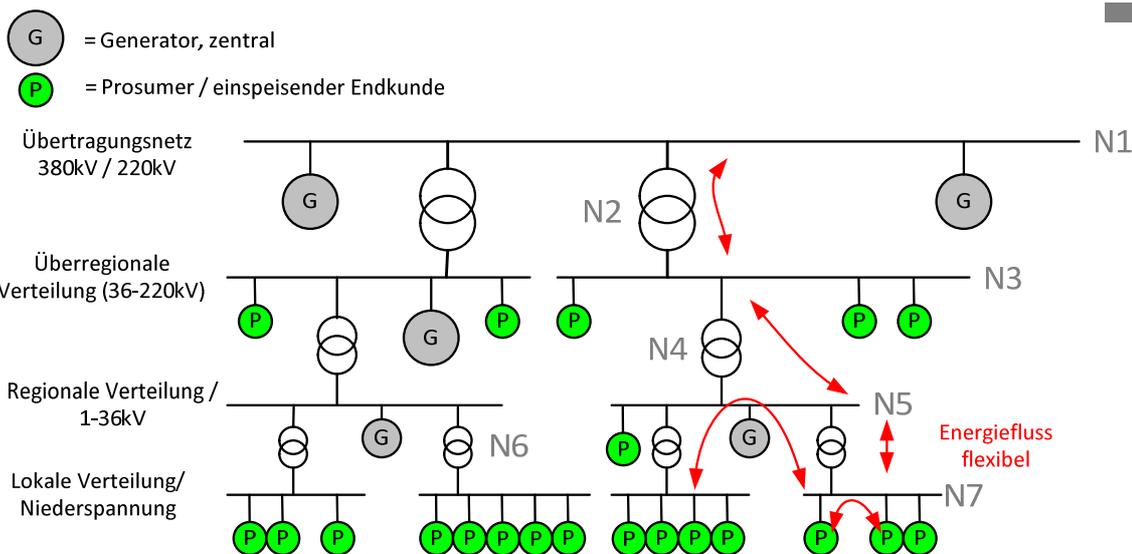


Abbildung 7, Netzarchitektur Morgen. Quelle: Super Computing Systems 2013 [18]

Größere Verbrauchergruppen wie Wärmepumpen, Warmwasserspeicher, Tiefkühler oder Autobatterien werden aktiv ins Netzmanagement einbezogen. Damit das gelingen kann, braucht es gewisse Anpassungen im Stromnetz. Wie viel Aufwand und Kosten dadurch verursacht werden, ist Gegenstand des nächsten Absatzes.

Wie viel Netzausbau braucht die Schweizer Energiewende?

Weil die Schweizer Stromnetze durchschnittlich 40 Jahre alt sind, muss ein Grossteil der Netze bald erneuert werden. Diese Investitionen müssen sowieso getätigt werden und sind deshalb nicht mit dem Ausbaubedarf für die Energiewende zu verwechseln. Im Folgenden haben wir die relevanten Aussagen für die mit der Energiewende verbundenen Netzausbaukosten für das Übertragungs- und Verteilnetz aus den aktuellsten verfügbaren Studien zusammengetragen:

Studie	Resultate für die Beurteilung der Kosten und des Umfangs des Ausbaubedarfs des Stromnetzes
Übertragungsnetz	
[4] Consentec 2012, Einfluss verschiedener Stromangebotsvarianten auf das Übertragungsnetz der Schweiz, Untersuchung im Auftrag des BfE	<p>→ Das Stromszenario mit höheren Anteilen erneuerbarer Energien und Energieeffizienz führt zu weniger Ausbaubedarf im Übertragungsnetz:</p> <p>Die durch den <i>zusätzlichen</i> Netzausbau zu tragenden Kosten liegen für das Szenario NEP „<i>Neue Energiepolitik</i>“ in einer Bandbreite von rund 185-280 Mio. CHF bis 2035 bzw. 330-500 Mio. CHF bis 2050.</p> <p>Für das Szenario WWB „<i>Weiter wie bisher</i>“ belaufen sich die Kosten auf 360-540 Mio. CHF bis 2035 und ca. 475-710 Mio. CHF bis 2050.</p>
Verteilnetz	
[5] Consentec 2012: Auswirkungen eines verstärkten Ausbaus der dezentralen Erzeugung auf die Schweizer Verteilnetze. Untersuchung im Auftrag des BfE.	<p>→ Die heutigen Mittel- und Niederspannungsnetze weisen mehrheitlich Reserven auf, weswegen der Handlungsbedarf vorerst klein ist: bis zur Einspeisung von ca. 5 GW Strom von dezentralen neuen Erneuerbaren sind nur punktuelle Massnahmen notwendig.</p> <p>→ Gemäss den Berechnungen fallen für den langfristigen Umbau der Verteilnetze aber höhere Kosten an als für die Übertragungsnetze: Bis 2050 fallen für das Szenario WWB „<i>Weiter wie Bisher</i>“ je nach Stromangebotsvariante und Art des Netzausbaus zwischen 3.85 bis 10.1 Mrd. CHF an. Für das Szenario NEP „<i>Neue Energiepolitik</i>“ werden die Kosten auf 4.5 bis 12.6 Mrd. CHF beziffert (S. 38). Die unteren Werte (3.85 resp. 4.5) stehen für die Kosten mit innovativen Massnahmen. Die Differenzkosten für die Variante mit einem erhöhten Anteil erneuerbarer Energien NEP betragen demnach 0.65 bis 2.5 Mrd. CHF bis 2050.</p> <p>→ Innovative Massnahmen reduzieren den Investitionsbedarf um 50% und mehr gegenüber dem klassischen Netzausbau. Je tiefer die Netzebene auf denen Optimierungsmassnahmen umgesetzt werden, desto grösser sind die Kosteneinsparungen.</p>



Studie	Resultate für die Beurteilung der Kosten und des Umfangs des Ausbaubedarfs des Stromnetzes
<p>FAZIT:</p> <p>Das Stromnetz muss sowieso erneuert werden – schon bei der Variante „Weiter wie Bisher“ besteht ein grosser Investitionsbedarf in Übertragungs- und Verteilnetze. Beim verstärkten Ausbau der erneuerbaren Energien (Variante „Neue Energiepolitik“) fallen die Kosten auf der Übertragungsebene geringer aus (ca. 0.2 Milliarden Einsparungen bis 2050). Dafür muss auf Ebene Verteilnetze bis 2050 beim Ergreifen von innovativen Massnahmen rund 0.65 Milliarden CHF mehr investiert werden.</p> <p>Die berechneten Mehrkosten bei den Verteilnetzen liegen für einen typischen Haushalt im Jahr 2050 bei etwa 50 bis 70 CHF pro Jahr. D.h. die jährlichen Kosten betragen dann schätzungsweise statt 550 CHF (im Szenario „Weiter Wie Bisher“) etwa 600 bis 620 CHF [5], S. 45]. Der gleiche Haushalt bezahlt heute rund 450 CHF pro Jahr für die Netznutzung.</p>	

Fazit und Forderungen

Sämtliche Analysen zeigen, dass die bestehende Schweizer Wasserkraft und der heute schon aufgegleiste Ausbau der Pumpspeicherwerke ideale Voraussetzungen für die nahtlose Integration grosser Mengen an fluktuierenden erneuerbaren Energien schaffen: Bis zu 20% des Strombedarfs können wir mit der Photovoltaik decken, ohne in zusätzliche Ausgleichsleistungen investieren zu müssen.

Die 100% erneuerbare Stromversorgung mit Wasser, Photovoltaik, Biomasse, Wind und Geothermie hat zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit vier Ansätze zur Verfügung, welche komplementär ergriffen werden können:

1. Optimierung des Stromverbrauchs (hier vor allem Winterstromeffizienz sowie Glättung kurzfristiger Verbrauchsspitzen) und/oder
2. Optimierung der Stromproduktion (hier vor allem Solaranlagen mit optimierter Ausrichtung und Spitzenlastbegrenzungen sowie Biogas- und Kehrriechverbrennungsanlagen mit Winter Spitzen) und/oder
3. Strategischer Austausch im europäischen Strommarkt (insbesondere Import von Windstrom – diverse Schweizer Elektrizitätsversorger investieren heute schon in grössere Windparks im Ausland) und/oder
4. Ausbau von zusätzlichen Speicherlösungen (Power to Gas, Batterie-Speicher und andere).

Für eine sichere Versorgung auf Basis von 100% erneuerbaren Energien braucht es in Zukunft dank der bestehenden Wasserkraft keine Gaskraftwerke.

Eine konsequentere Politik zu Gunsten einer sicheren 100% erneuerbaren Stromversorgung ohne zusätzliche CO₂-Emissionen erhöht die Versorgungssicherheit, u.a. auch weil damit die Abhängigkeit von Gaslieferländern wie Russland verringert wird.

Die gute Ausgangslage der Schweiz soll optimal für den Ausbau und die lückenlose Integration der erneuerbaren Energien genutzt werden. Längerfristig soll eine intelligente Kombination der oben genannten vier Ansätze verwirklicht werden.



Quellen und Links

- [1] Agora Energiewende (2012): 12 Thesen zur Energiewende. Ein Diskussionsbeitrag zu den wichtigsten Herausforderungen im Strommarkt. Überarbeitung und Nachdruck Februar 2013, Berlin. Zu beziehen unter: <http://www.agora-energiewende.de/themen/die-energiewende/detailansicht/article/12-thesen-zur-energiewende/> (16.6.2013)
- [2] Avenir Suisse: Plakat „Land im Netz“ http://www.avenir-suisse.ch/wp-content/uploads/2012/08/120973_avenir_pl_de_internet2.pdf (11.6.2013)
- [3] Baumgartner 2012: Fluktuierende erneuerbare Stromerzeugung und Speicher – Fallstudie Leitungsbau versus Speicher. Präsentation vom 3.8.2012, zu beziehen unter: http://www.engineering.zhaw.ch/fileadmin/user_upload/engineering/veranstaltungen/EuU-A/2012/120308_Franz_Baumgartner_Fluktuierende_Erneuerbare.pdf (16.6.2013)
- [4] Consentec 2012: Einfluss verschiedener Stromangebotsvarianten auf das Übertragungsnetz der Schweiz. Untersuchung im Auftrag des BfE. Zu beziehen unter: http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00527/?lang=de&dossier_id=05024 (13.6.2013)
- [5] Consentec 2012: Auswirkungen eines verstärkten Ausbaus der dezentralen Erzeugung auf die Schweizer Verteilnetze. Untersuchung im Auftrag des BfE. Zu beziehen unter: http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00527/?lang=de&dossier_id=05024 (13.6.2013)
- [6] Elektrizitätsstatistik 2011: http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00542/00630/index.html?dossier_id=00765 (16.6.2013)
- [7] ETH (2011): Energiezukunft Schweiz, Göran Andersson, Konstantinos Boulouchos und Lucas Bretschger, November 2011. Zu beziehen unter: http://www.cces.ethz.ch/energiegesprach/Energiezukunft_Schweiz_20111115.pdf (13.6.2013)
- [8] Fraunhofer-Institut ISE (2013): Speicherstudie 2013, Kurzgutachten zur Abschätzung und Einordnung energiewirtschaftlicher, ökonomischer und anderer Effekte bei Förderung von objektgebundenen elektrochemischen Speichern; Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Januar 2013. Zu beziehen unter: <http://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien-und-positionspapiere/speicherstudie-2013> (16.6.2013)
- [9] Greenpeace (2007): Ersatz der Elektroheizungen: Gewinn für Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft. Zu beziehen unter: http://www.greenpeace.org/switzerland/Global/switzerland/de/publication/ClimateChange/2009_Bro_elektroheizung_D.pdf (13.6.2013)
- [10] Grüne Schweiz (2012): Hintergrundbericht zur Energiestrategie 2050 der Grünen, Version 1.7. Zu beziehen unter: <http://www.gruene.ch/energiestrategien> (13.6.2013)
- [11] Häberlin 2011: Wie viel Solarstrom erträgt das Netz? Artikel in der Zeitschrift Elektrotechnik Nr. 8 2011.
- [12] Nipkow 2009: Forschungsbericht Elektroheizungen: http://www.energieeffizienz.ch/files/EH_Forschungsbericht_d.pdf (30.5.2013)
- [13] Nordmann und Remund (2012): Entwicklung des Speicherbedarfs im Laufe des Ausstiegs aus der Kernenergie unter der Annahme, dass Photovoltaik 70% des Atomstroms ersetzt. Zu beziehen unter: http://www.roger-nordmann.ch/articles/2012.10.21_Swissolar_Rapport_Remund-Nordmann_PV_D.pdf (13.6.2013)
- [14] Pöyry 2012: Angebot und Nachfrage nach flexiblen Erzeugungskapazitäten in der Schweiz (Studie im Auftrag des VSE)
- [15] PROGNOSE (2012): „Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050“ (Anhang II.3 Fluktuierende Stromerzeugung; S. 790 ff)
- [16] Rechsteiner (2012): 100% Erneuerbar. So gelingt der Umstieg auf saubere, erschwingliche Energien, Orell Füssli Verlag 2012.
- [17] SAFE 2011: Factsheet Strom-Sparpotenziale – Version 04/2011: http://www.energieeffizienz.ch/files/SAFE_FS_Stromeffizienz_Tabelle_d.pdf (30.5.2013)
- [18] Super Computing Systems (2013): Netzgrafiken aus dem Vortrag von Prof. Anton Gunzinger an der Energie-Cluster-Tagung vom 23.05.2013. Zu beziehen unter: <http://www.energie-cluster.ch/ecweb5/de/veranstaltungen/energie-aperos/int-netz-solothurn-2013-05-14.pdf>
- [19] Swisscleantech (2012): Cleantech Energiestrategie (Version 3.0). Zu beziehen unter: <http://www.swisscleantech.ch/?id=130> (14.6.2013)



[20] Swissgrid: Infos auf www.swissgrid.ch

[21] Umweltallianz (2012): 100PRO Einheimisch, Effizient, Erneuerbar. Zu beziehen unter: <http://www.umweltallianz.ch/?id=199> (14.6.2013)

Kontakt

UMWELTALLIANZ

Ingrid Hess | Postgasse 15 | Postfach 817 | 3000 Bern 8
 T (+41) 031 313 34 33 | 031 313 34 31 (dir.)
www.umweltallianz.ch; info@umweltallianz.ch

Georg Klingler

Experte für erneuerbare Energien, Greenpeace Schweiz
 Tel. +41 44 447 41 88
 Email: georg.klingler@greenpeace.org

<p>STROMMIX 2035</p> <p>100 PRO</p> <p>EINHEIMISCH ERNEUERBAR EFFIZIENT</p>	<p>Energie sind „WIR“</p> <p>Ob 100PRO (einheimisch, erneuerbar und effizient) machbar ist, liegt bei uns allen. Der Weg ist steinig und lang. Wir können uns vollständig mit Strom aus einheimischen und erneuerbaren Quellen versorgen. Wenn wir wollen. Denn das neue «Wir» können wir selbst gestalten – typisch schweizerisch: sicher, bezahlbar und effizient. Der Weg zur Strom-Souveränität ohne Atomkraft und Gas bringt einen erheblichen Gewinn für das Gewerbe sowie den Denk- und Werkplatz Schweiz. Gefordert sind: Ingenieurinnen, Forscher, Gewerbler, Politikerinnen, Behörden und Umweltschützer. Und nicht zuletzt «WIR»; das sind die Schweizer Privatpersonen und ihr Konsumverhalten. Wir können zu Machern der sicheren Stromzukunft werden. 100 PRO.</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

