

Der Atomausstieg kommt

Roadmap für den Ausbau der Photovoltaik in der Schweiz

Das grosse Potenzial der Photovoltaik – so nutzen wir es

In den nächsten zwei Jahrzehnten werden die Schweizer AKW voraussichtlich schrittweise ausser Betrieb genommen. Beznau 1, das weltweit älteste AKW, ist schon seit März 2015 abgeschaltet und eine Wiederinbetriebnahme wird immer unwahrscheinlicher. Mühleberg wird 2019 vom Netz gehen. Im nächsten Jahrzehnt fallen zudem die Bezugsrechte aus französischen AKW weg und Beznau II dürfte am Ende der technischen Lebensdauer stehen. Gösgen und Leibstadt sind spätestens 2035 am Ende ihrer technischen Lebensdauer – eine vorgängige Stilllegung aus ökonomischen Gründen ist durchaus möglich. An den Bau eines neuen AKW in der Schweiz glauben nur noch wenige – das AKW-Projekt Hinkley Point C in Grossbritannien zeigt, dass dies nur mit massiver staatlicher Unterstützung möglich wäre.

Fazit: Der Atomstrom muss in absehbarer Zeit ersetzt werden. Die Gegner der Energiestrategie ignorieren entweder diese Tatsache oder es ist ihnen egal, wenn die Schweiz zukünftig massiv von Stromimporten abhängt.

Photovoltaik ist ein Grundpfeiler des AKW-Ersatzes

Als noch sämtliche AKW in Betrieb waren, lieferten sie jährlich etwa 25 Milliarden Kilowattstunden (25 Terawattstunden, TWh), das sind 35 bis 40 % des Schweizer Strombedarfs¹. Wie ersetzen wir diese Strommenge?

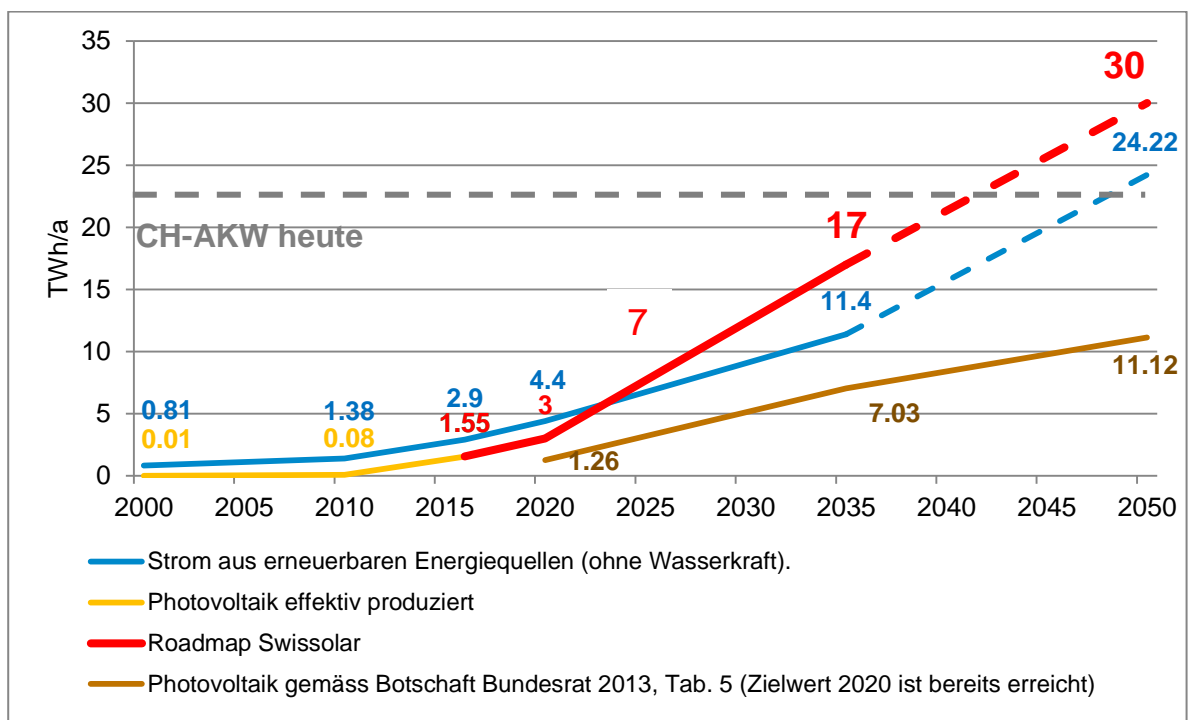
Berücksichtigen wir sämtliche Dächer, Fassaden, Parkflächen und weitere Infrastrukturanlagen, die von der Ausrichtung und vom Standort her für die Solarenergienutzung infrage kommen, beträgt das Photovoltaik-Potenzial in der Schweiz rund 33 TWh Jahresproduktion (Studie Meteotest, 2017). Wenn zudem einige Freiflächenanlagen hinzukommen, wären rund 35 TWh möglich. Für den Atomausstieg reicht es, 17 TWh oder zwei Drittel des Atomstroms durch Solarstrom zu ersetzen. Die Verbrauchsreduktion durch Energieeffizienzmassnahmen und der Ausbau anderer erneuerbarer Energien ermöglichen den Ersatz des verbleibenden Drittels. Photovoltaik wird damit zur zweiten Säule unserer Stromversorgung neben der Wasserkraft.

In zwei Schritten zum Ziel

- Bis **2025** liefern Photovoltaikanlagen **7 TWh** Strom, also etwa 5-mal mehr als heute. Zur Aufnahme dieser Menge Solarstrom braucht es praktisch keine Anpassungen am Stromnetz. Produktionsüberschüsse und saisonaler Ausgleich können durch die bestehenden Pumpspeicherwerke und Speicherseen, Batteriespeicher sowie durch Importe und Exporte sichergestellt werden. Diese solare Erzeugung entspricht 70% der Produktion der drei kleinen Reaktoren Beznau I und II sowie Mühleberg. Dies bedeutet, dass zusammen mit den übrigen Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien, die schon jetzt im Betrieb sind, die Stromproduktion der 3 kleinen AKW ersetzt sein wird.

¹ Von August 2016 bis Februar 2017 war das AKW Leibstadt ausser Betrieb. Zusammen mit Beznau I fiel damit rund die Hälfte der Jahresproduktion weg.

- Bis **2035** kann die Solarstromproduktion um weitere **10 TWh** ausgebaut werden. Bis dann sind voraussichtlich alle AKW der Schweiz ausser Betrieb, Photovoltaik ersetzt rund zwei Drittel ihrer ursprünglichen Jahresproduktion. Um diese Menge Solarstrom ins schweizerische Stromnetz zu integrieren, müssen Photovoltaik und Wasserkraft koordiniert werden: Die Photovoltaik produziert die grossen Mengen an Strom, die Wasserkraft liefert ihn genau dann, wenn wir ihn brauchen. Mit dieser Rollenteilung wird Wasserkraft wieder wirtschaftlich und die notwendigen Ausbauten an bestehenden Speicherseen für den saisonalen Ausgleich werden finanzierbar.
- Das Photovoltaik-Potenzial ist mit 17 TWh längst nicht ausgeschöpft. Nach 2035 wird die Photovoltaik weiter ausgebaut und leistet ihren Beitrag zur Dekarbonisierung unserer Energieversorgung, also zum Ersatz von Brenn- und Treibstoffen. Wie gross dieser Beitrag sein wird, hängt nicht zuletzt von den Technologien zur saisonalen Energiespeicherung ab.



Ausbau der Photovoltaik: Zielvorhaben Swissolar und offizielle Szenarien im Vergleich

Blaue Kurve: Bis 2016: effektiv produziert, 2017-2035: Zielpfad gemäss Energiestrategie 2050, 2036-2050: Gemäss Botschaft des Bundesrates 2013, Tab. 5

Photovoltaik fügt sich gut ins Energiesystem ein

Wasserkraft und Photovoltaik, die beiden Grundpfeiler der zukünftigen Stromversorgung, passen bestens zusammen. Im Tagesverlauf liefert Photovoltaik über Mittag am meisten Strom, also zum Zeitpunkt des höchsten Verbrauchs. Eine allfällige Überproduktion kann von Pumpspeicherwerken zum Hochpumpen verwendet werden. Wenn die Sonne nicht scheint, wird das Wasser wieder turbinert. Batteriespeicher (in Einzelgebäuden oder auf Quartierebene) sind eine weitere Möglichkeit, um auf Bedarfsschwankungen im Netz zu reagieren. Für die saisonale Speicherung steht die Umwandlung von sommerlichen Solar-Überschüssen zu Brenn- und Treibstoffen zur Verfügung (Power-to-Gas, Power-to-Fuel).

Der Jahresverlauf der Photovoltaik und jener der Zuflüsse der Speicherseen sind nicht parallel. Im Frühling, wenn die Speicherseen noch leer sind, laufen Solaranlagen bereits auf Hochtouren. Dank

der Sommer-Solarproduktion können die Wasserreserven in den Speicherseen belassen werden und stehen damit im Winter zur Verfügung.

Photovoltaik liefert die günstigste Energie – sie braucht aber geeignete Rahmenbedingungen

Solarstrom ist in rasantem Tempo billiger geworden. Die Preise pro Kilowattstunde lagen im Jahr 1992 in der Schweiz noch bei etwa 2 Franken, im Jahr 2000 bei 1 Franken, und heute sind es je nach Grösse der Anlage 10–18 Rappen. Grossanlagen in sonnenreichen Gebieten der Erde erreichen Werte von 2.5 Rp./kWh. Damit ist Solarstrom billiger als Strom aus jedem anderen neuen Kraftwerk, unabhängig von der Technologie. Es ist zu erwarten, dass die Kosten in den nächsten Jahren weiter sinken.

Dennoch wird die Photovoltaik nicht «automatisch» ausgebaut. Die heute extrem tiefen Preise am Strommarkt verhindern die notwendige Investitionssicherheit insbesondere für den Bau grosser PV-Anlagen. Die Preissituation wird sich nicht kurzfristig ändern. Zuerst muss ein regulatives Umfeld und ein Strommarktdesign geschaffen werden, das einen wirtschaftlichen Ausbau der Photovoltaik fördert und keine Hürden aufbaut. Bis dahin sind Fördermassnahmen für die Photovoltaik nötig. Dies können garantierte Preise (KEV oder Ausschreibungen) oder Investitionsbeiträge (Einmalvergütung) sein.

Die bisherige Förderung der erneuerbaren Energien in der Schweiz ist eine Erfolgsgeschichte: Die in Betrieb stehenden Anlagen aller Technologien produzieren jährlich 3,3 TWh Strom, womit das AKW Mühleberg bereits mehr als ersetzt ist. Aber 35 000 Photovoltaikprojekte sind immer noch auf der KEV-Warteliste. Sie könnten 2 TWh Strom liefern und damit das stillstehende AKW Beznau I zu zwei Dritteln ersetzen. Diese und Tausende weiterer Projekte warten auf ihre Realisierung. Mit der Energiestrategie 2050 geht es wieder vorwärts, zusätzliche Projekte erhalten eine faire Finanzierung. Dem ersten Massnahmenpaket der Energiestrategie müssen weitere Schritte folgen, um der Photovoltaik zum Durchbruch zu verhelfen. Dazu gehört die Schaffung neuer Mechanismen am Strommarkt, wie sie zurzeit von der Energiekommission des Nationalrates beraten werden.

Energieautark in der Jahresbilanz

Energieszenarien für die Schweiz unterscheiden sich massiv, je nach zugrunde gelegter Selbstversorgung. Eine vollständige Autarkie ist gerade im Strombereich, wo die Schweiz die europäische Drehscheibe bildet, wenig sinnvoll. Auch eine massive Importabhängigkeit ist nicht erwünscht. Swissolar strebt eine Bilanzautarkie an, es soll also in der Jahresbilanz gleich viel importiert wie exportiert werden. Im Winter kann die Schweiz Windstrom importieren, während sie mit Strom aus Speicherseen und Pumpspeicherwerken zu Spitzenbedarfszeiten exportiert.

Das neue Energiesystem: robust und unabhängig

Zurzeit häufen sich Ausfälle alternder AKW. In der Schweiz sind Beznau I und Leibstadt ausser Betrieb (Stand Februar 17), ab Oktober 2016 war ein Drittel der französischen AKW für längere Zeit abgeschaltet. Fallen solch grosse Produktionseinheiten weg, gefährdet das die Stabilität unserer Stromversorgung. Es wird damit immer deutlicher: Eine Kombination verschiedener erneuerbarer Stromquellen und Speichersysteme sorgt für eine robuste, wenig störungsanfällige Stromversorgung. Die Behauptung, es brauche Grundlastkraftwerke für eine sichere Stromversorgung, ist längst widerlegt. Ihre Produktion kann nicht an die Schwankungen von Wind- und Solarstrom angepasst werden, was zu gewissen Zeiten für Überproduktion sorgt und sich v. a. in Deutschland an negativen Börsenpreisen zeigt. Zudem sind Grundlastkraftwerke wie AKW oder Kohlekraftwerke abhängig von Energieimporten und können Ziele für terroristische Anschläge darstellen.

Photovoltaik und Speichereinsatz für die Energiewende

Swissolar Roadmap für den Ausbau der Photovoltaik in der Schweiz, März 2017

Bis wann?	PV-Marktanteil [TWh] – [%]		AKW	Kurzzeitspeicher Tag/Nacht	Saisonale Speicher: Sommer/Winter
	TWh	%			
Ist-Zustand 2016	1.6 TWh	2.6%	Ohne Beznau I	Vorh. Pumpspeicherwerke inkl. Limmern (Axpo)	Vorhandene Speicherkraftwerke
2017-2025	7 TWh	≈10%	Ohne Mühleberg, Beznau I&II	<ul style="list-style-type: none"> • Lokale Lasten verschieben, z.B. WP und WPB Nacht>Tag • Pumpspeicher Nant de Drance (Alpiq) 	<ul style="list-style-type: none"> • AAA+-Geräte • WP statt Elektroheizungen • Minergie mit WP
2026-2035	17 TWh	≈28%		<ul style="list-style-type: none"> • Smart Building • Smart Grid • Batteriespeicher • Elektromobilität 	<ul style="list-style-type: none"> • WP mit PV • Power to X • Sektorkopplung
2035-2050	2X TWh	>35%	Schweiz ohne AKW	Neue Pumpspeicher? Lago Bianco (Repower)	<ul style="list-style-type: none"> • Minergie P als Standard • Sektorkopplung • Wasserstoff- u. Methanspeicherung • Erhöhung Stau-mauern?

FAQ

Wie gut ist die Energiebilanz der Photovoltaik?

Die Energierücklaufzeit (energy pay-back time, EPBT) für Photovoltaikanlagen liegt in unseren Breitengraden mit einer Einstrahlung von $1000 \text{ kWh/m}^2 \text{ a}$ je nach verwendeter Technologie bei zwei bis dreieinhalb Jahren (Quelle: Fraunhofer ISE: Photovoltaics Report, updated: 17 November 2016). Ist eine PV-Anlage 30 Jahre in Betrieb, produziert sie also 9- bis 15-mal so viel Energie wie für ihre Herstellung und Installation investiert wurde.

Dank höheren Wirkungsgraden und dünneren Wafern sinkt die EPBT von Photovoltaikanlagen weiter und ihre Energiebilanz wird besser. Dies ganz im Gegensatz zu AKWs: Ihre Energiebilanz verschlechtert sich laufend, da Uranerze mit tieferem Gehalt verwendet werden müssen.

Können Solarmodule recycelt werden?

Die meisten in der Schweiz verwendeten Solarmodule basieren auf kristalliner Siliziumtechnologie. Sie bestehen fast ausschliesslich aus Glas und Aluminium und können problemlos recycelt werden. Für die anderen Modultypen (Dünnschichtmodule) werden zurzeit Verfahren entwickelt, um wertvolle Substanzen zurück zu gewinnen. Angesichts ihrer Lebensdauer von mindestens 30 Jahren fallen bisher erst sehr geringe Mengen an. Die meisten Schweizer Modulproduzenten und -importeure haben sich einer freiwilligen vorgezogenen Entsorgungsgebühr der Stiftung SENS angeschlossen. Ein Obligatorium ist für 2018 zu erwarten (Revision VREG).

Ist «Flutterstrom» nicht ein Risiko für die Versorgungssicherheit und den Marktwert der Solarenergie?

Einige Kritiker bezeichnen Wind- und Solarstrom als «Flutterstrom» – ein Problem für die Netzstabilität und damit für die Versorgungssicherheit. Doch gerade in der Schweiz sind wir für die schwankende Produktion bestens gerüstet: Stauseen und Pumpspeicherwerke können die höheren Schwankungen ausgleichen und immer genauere Wind- und Einstrahlungsprognosen erleichtern die Kapazitätsplanung. Extreme Produktionsspitzen von PV-Anlagen können zudem abgeregelt werden, wenn dafür kein Speicher zur Verfügung steht. Das heisst, dass die Leistung der Anlage beschränkt wird, sobald eine gewisse Produktionsmenge erreicht ist oder im Netz Überschüsse vorhanden sind. Die Verluste für den Produzenten sind minim: Wird eine Anlage dauerhaft bei 70 % der maximalen Leistung abgeregelt, liegt der Verlust über das Jahr bei nur etwa 3 %.

Interessant ist, dass die gleichen Kritiker nie davon sprechen, dass die AKW-Bandlast kurzfristig nicht reguliert werden kann. Muss ein grosses AKW wie Leibstadt plötzlich vom Netz, fallen auf einen Schlag etwa 7 % der Produktionskapazität weg. Dies kann die Systemstabilität viel stärker beeinflussen als weitgehend vorhersehbare Produktionsschwankungen von Wind und Sonne. Dadurch entstehen Vorhaltekosten von jährlich rund 320 Mio. Fr. Deshalb wurden in der Vergangenheit zur Verwertung der AKW-Produktionsüberschüsse riesige Investitionen getätigt (Elektro-Speicherheizungen, Pumpspeicherwerke). Solar- und Windstrom brauchen genauso wie Atomkraft Speicher- und Backupsysteme. Nur im Zusammenspiel der verschiedenen Technologien kann die Versorgungssicherheit garantiert werden.

Führt der Ausbau von Solarenergie zu einer neuen Subventionswirtschaft? Wann wird Solarstrom wettbewerbsfähig?

Solarstrom ist schon heute oft billiger als Strom aus anderen neuen Kraftwerken. Immer mehr Kleinanlagen auf Wohnhäusern werden deshalb mit der Einmalvergütung oder ganz ohne Förderung erstellt. Doch für die Energiewende braucht es auch grössere Anlagen. Damit solche Anlagen finanziert und gebaut werden können, braucht es eine Investitionssicherheit für die Betriebsdauer von 20 bis 30 Jahren. Diese ist bei den heutigen Marktmechanismen nicht gegeben: Über den Erlös aus dem Stromverkauf lassen sich aktuell nur die Betriebskosten decken, nicht aber die Investitionskosten.

Davon betroffen ist nicht nur die Solarenergie. Deshalb bräuchte es heute Preisgarantien für neue Kraftwerke jeder Technologie – aus unserer Sicht kommt dies allerdings nur für erneuerbare Technologien in Frage.

Im Übrigen ist eine sichere Energieversorgung für die Wirtschaft eines Landes von absolut zentraler Bedeutung. Immer ist sie mit langfristigen Investitionszyklen verbunden. Kein Land überlässt seine Energieversorgung vollständig dem freien Markt, sondern sorgt immer für eine politische Steuerung. Mit dem bevorstehenden Ende der Lebensdauer der bestehenden AKW und der notwendigen Dekarbonisierung unserer Energieversorgung ist es richtig, dass die Schweiz jetzt entschlossen handelt und die Voraussetzungen für einen raschen Ausbau der erneuerbaren Energien schafft.

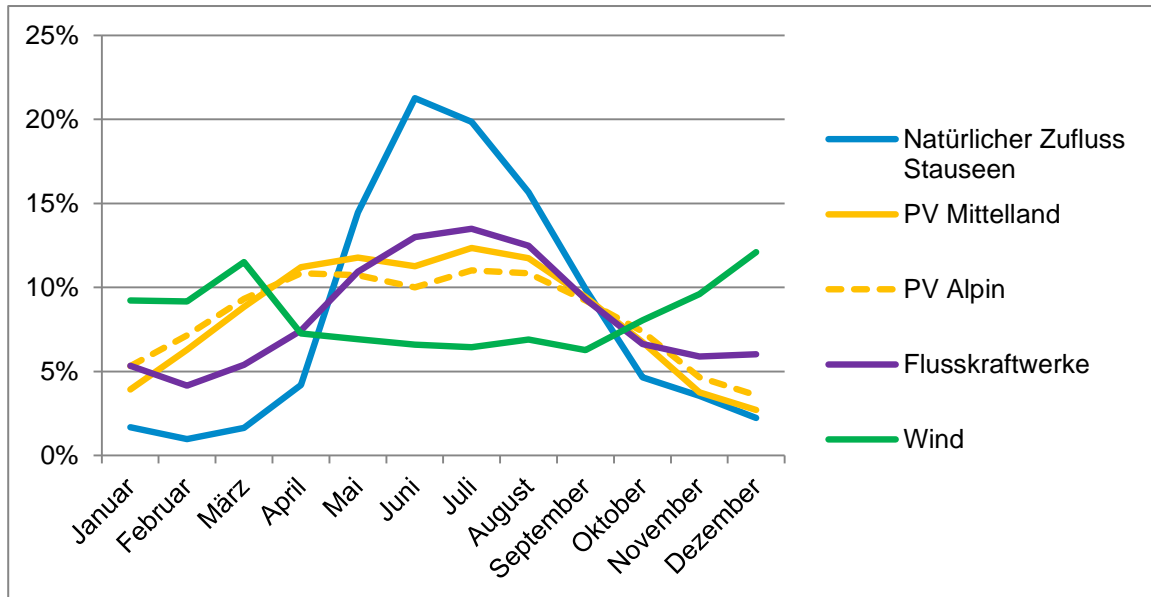
Wichtig zu betonen ist, dass die heutige Förderung der erneuerbaren Energien NICHT einer Subventionierung entspricht. Sie wird nicht aus der Staatskasse bezahlt, sondern durch eine Abgabe auf den Strompreis. Die in verschiedenen Ländern eingeführte Einspeisevergütung (in der Schweiz die KEV, seit 2009) hat sich als enorm wirksame Massnahme erwiesen. Sie hat massgeblich zur Kostensenkung der Photovoltaik um rund 75 % innerhalb von 10 Jahren beigetragen.

Wird das Landschaftsbild durch die Energiewende verhandelt?

Die Schweiz ist Vorreiterin bei gebäudeintegrierten PV-Anlagen. Diese passen sich bestens an das Erscheinungsbild eines Gebäudes an, dank neuen Entwicklungen sind auch weisse oder farbige Module erhältlich. Damit werden PV-Anlagen nicht mehr nur auf Dächern, sondern immer mehr auch auf Fassaden eingesetzt. Auch auf Schutzobjekten sind Anlagen möglich. Freiland-Photovoltaikanlagen werden hingegen nur eine marginale Rolle spielen. Windenergie kann Solarenergie sinnvoll ergänzen, weshalb Swissolar einen massvollen Ausbau dieser Energie in vorbelasteten Gebieten unterstützt.

Macht Photovoltaik die Wasserkraft unrentabel?

Tatsächlich hat der Ausbau der Wind- und Solarenergie in Europa (insbesondere Deutschland), kombiniert mit der ungenügenden Stilllegung von fossilen und nuklearen Kraftwerken, zu einer so starken Absenkung der Börsenstrompreise beigetragen, dass die Wasserkraftwerke momentan nicht mehr so wirtschaftlich wie früher betrieben werden können. Aber längerfristig ist klar: Die beiden Energiequellen ergänzen sich hervorragend. Wie die folgende Abbildung zeigt, ist die Solarstromproduktion im Frühling bereits stark, während die Stauseen vor der Schneeschmelze noch leer sind. Umgekehrt können die Stauseen schwerpunktmässig **mitten im Winter** Strom liefern – noch mehr als bisher. Dies dank der **ab Mitte Februar stark ansteigenden Photovoltaik-Produktion**, wodurch weniger Wasserreserven für die Monate März und April vorgehalten werden müssen. Pumpspeicherwerke können zudem Produktionsschwankungen der Solaranlagen ausgleichen. Photovoltaik wird in der Schweiz schon in wenigen Jahrzehnten zur zweitwichtigsten Energiequelle nach der Wasserkraft.



Aufteilung der Jahresproduktion in der Schweiz, Durchschnitt 2008–2011, nach Technologie
(Nordmann & Remund, 2012)

Wieso bauen wir die Solaranlagen nicht im Süden?

Solaranlagen in Südeuropa oder Nordafrika haben tatsächlich höhere Erträge als jene in der Schweiz. Doch diese müssen primär gebaut werden, um den rasch wachsenden Bedarf jener Regionen zu decken. Im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung soll auch in der Schweiz möglichst auf eine lokale Produktion gesetzt werden, die für Wertschöpfung und Arbeitsplätze sorgt. Zudem müsste für den Transport des Stroms nach Norden neue Hochspannungsleitungen gebaut werden, was viel Zeit braucht und den Solarstrom verteuern würde. Er könnte mit lokal produziertem Strom wohl nicht mehr konkurrieren.

Kann Solarstrom eine sichere Stromversorgung im Winter garantieren?

Bereits heute importiert die Schweiz im Winter Strom. Der grosse Verbrauchsunterschied zwischen Sommer und Winter wird sich in Zukunft angleichen: Elektro-Direktheizungen werden zunehmend durch Wärmepumpen oder andere erneuerbare Heizsysteme (Solarthermie, Holz) ersetzt und der Klimawandel bringt neben wärmeren Wintern auch wärmere Sommer, wodurch mehr Kühlbedarf entsteht. Generell sinkt der Energiebedarf dank Sanierung der Gebäudehüllen. Trotzdem muss die geringere Sonneneinstrahlung im Winter kompensiert werden. Dazu dienen Speicherseen, die im Sommer dank der Solarenergienutzung weniger stark geleert werden müssen. Hinzu kommen Importe von Windstrom und in etwas fernerer Zukunft die Umwandlung von sommerlichen Solarstromüberschüssen in Gas (Power-to-Gas-Technologie), das für den Winterbedarf gelagert werden kann. Die bestehenden europäischen Gasnetze bieten eine sehr hohe Speicherkapazität.