Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 106 (2015)
Heft: 3

Artikel: Speicherung von Solarstrom im Hybridwerk Aarmatt
Autor: Hoffmann, Sebastian / Sulzer, Sabine
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-856610

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Speicherung von Solarstrom im Hybridwerk Aarmatt

Power-to-Gas im solothurnischen Zuchwil: Chancen und Herausforderungen

Technologien zur Langzeitspeicherung von zukünftig im Sommer produzierter Überschussenergie gewinnen an Bedeutung. In der Schweiz werden im Hybridwerk Aarmatt erstmals zwei Elektrolyseure zu diesem Zweck gebaut. Die hier vorgestellte Studie prognostiziert bereits für das Jahr 2020 rund 380 Stunden und für 2050 über 2000 Stunden, an denen überschüssige Solarenergie als Wasserstoffgas gespeichert werden kann. Dagegen zeigen energiewirtschaftliche Betrachtungen, dass für Power-to-Gas erst noch gesetzgeberische Rahmenbedingungen geschaffen werden müssen.

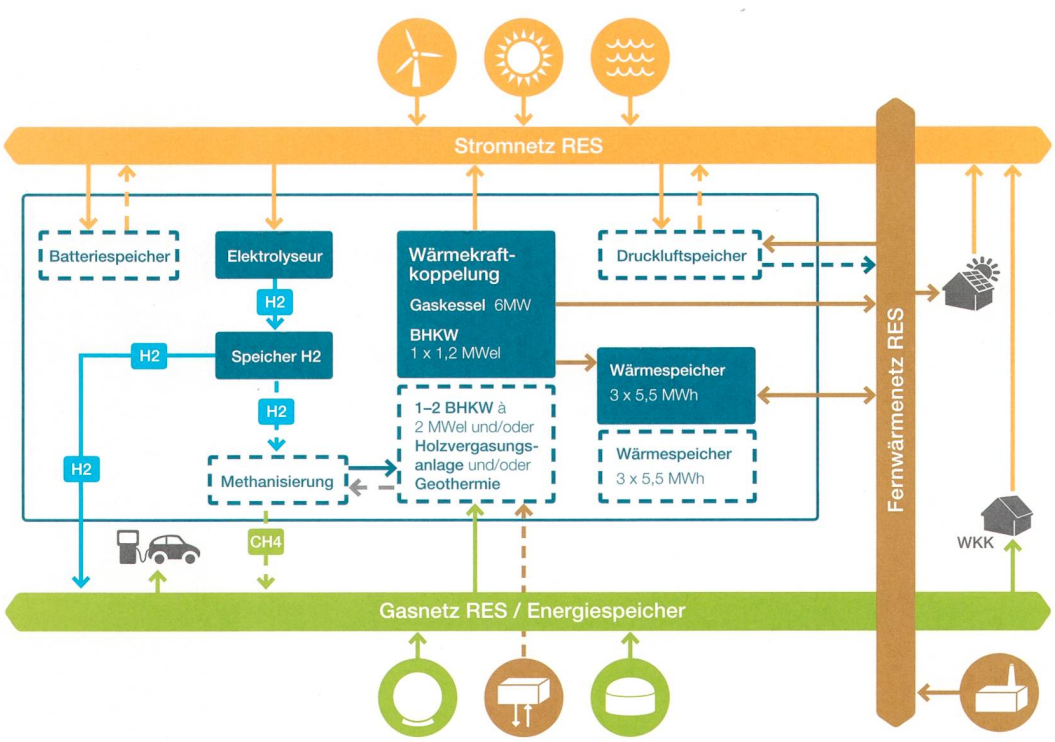
Sebastian Hoffmann, Sabine Sulzer

Mit der Energiestrategie 2050 setzt sich der Bund einen deutlichen Ausbau erneuerbarer Energien zum Ziel. Insbesondere Strom aus Fotovoltaik wird in Zukunft eine immer bedeutendere Rolle im Energiemix spielen. Dies lassen der in den letzten Jahren stark gesunkene Preis für Solarmodule sowie der zuletzt deutlich zunehmende Ausbau von Fotovoltaik-Anlagen vermuten. Gemäss einer aktuellen Studie des Fraunhofer-Instituts für solare Energiesysteme (Deutschland) [1] liegen die Stromgestehungskosten neuer Fotovoltaik-Anlagen zwischen 0,078 und 0,142 Euro/kWh (Stand: 3. Quartal 2013). Damit habe Solarstrom den Anschluss an andere Stromerzeugungstechnologien erreicht.

Mit diesen erfreulichen Aussichten ergeben sich jedoch auch Herausforderungen. Um zukünftig die im Sommer produzierte überschüssige Solarenergie im Winter nutzen zu können, werden Langzeitspeicher benötigt. Eine mögliche Technologie ist die seit Langem bekannte Wasserelektrolyse. Mittels elektrischer Energie wird Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff gespalten. Wasserstoff kann in Gasspeichern oder im Erdgasnetz saisonal gespeichert und im Winter rückverstromt, zur Wärmeerzeugung oder ganzjährig als Kraftstoff genutzt werden. Im derzeit im Aufbau befindlichen Hybridwerk Aarmatt im solothurnischen Zuchwil soll diese im Zusammenhang mit Power-to-Gas-Verfahren diskutierte Technologie für den Zweck der Energiespeicherung erstmals in der Schweiz angewandt und getestet werden.

Leuchtturmprojekt Hybridwerk Aarmatt

Das Hybridwerk Aarmatt ist ein BFE-unterstütztes Leuchtturmprojekt



Regio Energie Solothurn

Bild 1 Die Verknüpfung der Energienetze im Hybridwerk Aarmatt.

Autoren

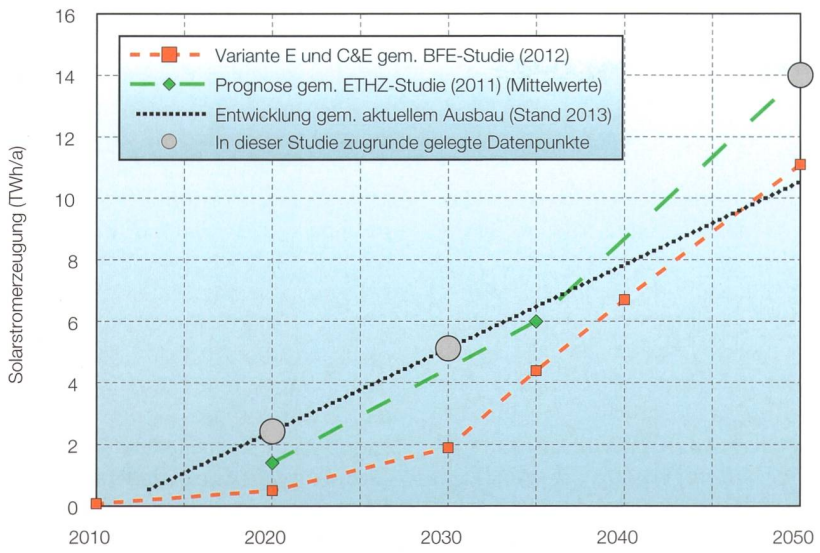


Bild 2 Prognosen zur Solarstromerzeugung in der Schweiz bis 2050.

der Regio Energie Solothurn. Auf Basis verschiedener Energieumwandlungs- und Speichertechnologien entsteht ein innovatives Energiesystem, das Strom-, Erdgas- und Fernwärme-Netz miteinander verknüpft (**Bild 1**). So soll eine Heizzentrale, bestehend aus einem 6-MW-Gaskessel und drei Schicht-Wärmespeichern (3 x 5,5 MWh mit 6 MW Lade-/Entladeleistung), die Versorgungssicherheit des lokalen Fernwärmenetzes unterstützen, das die Abwärme einer nahe gelegenen Kehrichtverbrennungsanlage bezieht. Ein Blockheizkraftwerk mit einer elektrischen Leistung von 1,1 MW verbindet hingegen das Erdgasnetz mit dem Strom- und Fernwärmenetz. Es kann primär in der kalten Jahreszeit unter Erzielung hoher Gesamtnutzungsgrade betrieben werden. In umgekehrte Richtung sollen in Zukunft zwei Proton-Exchange-Membran-(PEM)-Elektrolyseure mit je 175 kW elektrischer Leistung arbeiten. Im Sommer, in Zeiten hoher Solarstromproduktion bei gleichzeitig niedriger Nachfrage (z. B. an Wochenenden), soll elektrische Energie in Form von Wasserstoff gespeichert werden. Der produzierte Wasserstoff kann bis zu einem Volumenanteil von 2 % in das Erdgasnetz eingespeist werden. Mit der Installation eines 180-m^3-Pufferspeichers für Wasserstoff wird eine gleichmässige Wasserstoffabgabe in das Gasnetz erzielt. Die energiestrategische Einbettung der Elektrolyseure wurde in der vorliegenden vom Bundesamt für Energie (BFE) unterstützten Studie von der Hochschule Luzern analysiert.

Prognosen für den Fotovoltaik-Ausbau in der Schweiz

Insbesondere der Ausbau von Fotovoltaikanlagen entscheidet in Zukunft darüber, ob im Sommer Energie im Überschuss produziert und diese für eine saisonale Speicherung interessant wird. Prognosen für die Entwicklung der erneuerbaren Energien sind in verschiedenen Studien veröffentlicht worden. In einer im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE) erarbeiteten Studie «Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050» [2] werden verschiedene Varianten zur Entwicklung des Elektrizitätsangebots in der Schweiz betrachtet. In der Annahme, dass ein ambitionierter Ausbaupfad erneuerbarer Energien verfolgt würde, wird im Bericht ein Ausbau an Fotovoltaikanlagen gemäss der roten Kurve in **Bild 2** prognostiziert.

In einer Studie der ETH Zürich prognostizieren Anderson, Boulouchos und Bretschger (2011) [3] einen stärkeren Fotovoltaik-Ausbau und verweisen auf die in den letzten Jahren stark gesunkenen Preise für Solarmodule. Für das Jahr 2050 gelte in der Schweiz eine jährliche Solarstromerzeugung von 14 TWh als wahrscheinlich (grüne Kurve in **Bild 2**).

Dass die Schweiz kurz- und mittelfristig gesehen mit einem noch stärkeren Ausbau rechnen kann, darauf deuten die aktuellen Zahlen hin. Gemäss Swissolar [4] entspricht die installierte Fotovoltaikleistung Ende 2013 einer Stromerzeugung von 0,7 TWh/a. Darüber hinaus wurde im Jahr 2013 ein Spitzenwert von ca. 300 MWp neu installierte Leistung erreicht. Würde dieser Trend bis zum Jahr 2030 anhalten, entspräche die Entwicklung des Fotovoltaikausbaus der schwarzen Linie in **Bild 2**.

Dieser Extrapolation folgend, geht diese Studie von einer Solarstromerzeugung von 2,4 TWh im Jahr 2020 und von 5,1 TWh im Jahr 2030 aus. Für das Jahr 2050 wird gemäss der ETHZ-Studie eine Produktion von 14 TWh Solarstrom erwartet (graue Punkte in **Bild 2**).

Der Anteil Solothurns an der Solarstromerzeugung in der Schweiz, der zur Prognose regionaler Überschussenergie entscheidend ist, dürfte in Zukunft ca. 0,14 % betragen. Unter der Annahme, dass 40 % aller Grundbesitzer der Stadt Solothurn bereit sind, in Fotovoltaikanlagen zu investieren – Wirtschaftlichkeit vorausgesetzt – konnte in einer internen Vorstudie der Regio Energie Solothurn eine potenzielle, mit Solarmodulen ausgestatte Fläche von 0,11 km^2 berechnet werden. In einer für das Bundesamt

Autoren

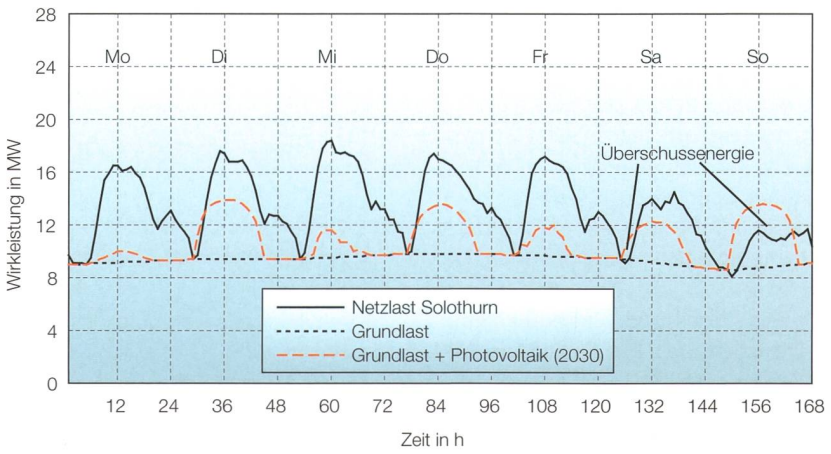


Bild 3 Prognostizierte Wirkleistung und Solarstromerzeugung in Solothurn für Anfang Juli 2030.

	2020	2030	2050
Anzahl Stunden Überschussenergie	380 h	660 h	2000 h
Jährliche Menge Überschussenergie	140 MWh	710 MWh	7100 MWh
Gespeicherte chemische Energie	35 MWh	84 MWh	320 MWh

Tabelle 1 Prognose für die Speicherung regionaler Überschussenergie in Solothurn.

für Umwelt durchgeführten Studie von Cattin et al. [5] ergibt sich eine nach gleichem Ansatz geschätzte Fläche von 79 km² für die gesamte Schweiz. Jeweils berücksichtigt wurden der Abzug ineffizienter Flächen sowie geschützter Gebäude und für Solarthermie reservierter Flächen. Daraus folgt für Solothurn ein flächenbezogener Anteil von 0,14 %.

Was ist Überschussenergie?

Zwar wird der heutzutage über erneuerbare Energien ins Netz eingespeiste Strom bei der Erstellung von Fahrplänen für konventionelle Kraftwerke berücksichtigt und zur Deckung der aktuellen Nachfrage genutzt. Der physikalische Ausgleich von Angebot und Nachfrage über die Regelung von Kraftwerken (in der Schweiz insbesondere Speicherkraftwerken) wird bei stark steigendem Anteil erneuerbarer Energien jedoch nicht möglich sein. Der im Sommer über die Mittagszeit produzierte Solarstrom wird bei gleichzeitig niedriger Nachfrage nicht mehr unmittelbar genutzt werden können. Denn ein Herunterregeln der nahezu konstanten Grundlast, die in der Schweiz vor allem durch Laufwasser- und Atomkraftwerke bereitgestellt wird, ist aufgrund des freiwilligen Verzichts von Wasserkraft nicht sinnvoll oder aufgrund begrenzter Regelbarkeit der Atomkraftwerke nicht möglich.

Überschussenergie soll in dieser Studie daher als die Energie definiert werden, die verbleibt, wenn der produzierte Solarstrom die Differenz aus der von den Stromverbrauchern bezogenen Wirkleistung und der angebotenen Grundlast übersteigt (vgl. **Bild 3**).

Möglichkeiten zur Speicherung regionalen Solarstroms

In **Bild 3** sind die Wirkleistung im Netz der Stadt Solothurn (Basisjahr 2013) sowie eine Prognose des in Solothurn produzierten Solarstroms für Anfang Juli 2030 dargestellt. Die Leistung der Fotovoltaikanlagen wurde gemäss der Definition für Überschussenergie auf Basis der Grundlast dargestellt. An Werktagen verdrängt der Solarstrom Teile der konventionell erzeugten Spitzenenergie, an Samstagen kann diese nahezu vollständig ersetzt werden. Es kommt jedoch nur in den Morgenstunden teilweise zur Produktion von Überschussenergie (Fläche zwischen roter und schwarzer Kurve). An Sonntagen (bei sonnigem Wetter) fällt Überschussenergie während nahezu der gesamten Sonnenscheindauer an. Der durch die Fotovoltaikanlagen produzierte Strom entspricht ungefähr dem Doppelten des Bedarfs an Spitzenenergie.

Im Jahr 2050 gehört die Produktion von Überschussenergie mehr zur Regel denn zur Ausnahme **(Bild 4)**. An sonnenreichen Tagen wird auch unter der Woche mehr Solarstrom produziert, als durch die Stromverbraucher benötigt wird. Lediglich in den Abendstunden spielt konventionell produzierte Spitzenenergie noch eine Rolle.

Damit die Stromnetze während der Produktion von Überschussenergie nicht überlastet sind, die Energie aber dennoch genutzt werden kann, benötigt es Energiespeicher wie zum Beispiel die Elektrolyseure im Hybridwerk Aarmatt. Diese können die Überschussenergie aufnehmen und in Form von Wasserstoff als chemische Energie speichern.

Tabelle 1 enthält die für die Zukunft prognostizierten Mengen an Überschussenergie sowie die durch die Elektrolyseure gespeicherte chemische Energie. Bereits im Jahr 2020 fallen in über 380 Stunden 140 MWh Überschussenergie an. Rund die Hälfte dieser Energie können die 2 x 175 kW leistungsstarken Elektrolyseure des Hybridwerks Aarmatt unmittelbar aufnehmen. Bei einem Wirkungsgrad von ca. 50 % könnten somit, auf den Heizwert des Wasserstoffgases bezogen, rund 35 MWh chemische Energie gespeichert werden.

Im Jahr 2030 werden sich die Überschussmengen verfünffacht haben, und im Jahr 2050 könnten in Solothurn schon 7100 MWh Solarstrom zur saisonalen Speicherung zur Verfügung stehen. Aufgrund einerseits der starken Stromerzeugungsspitzen über die Mittagszeit und andererseits der begrenzten Leistung der Elektrolyseure ist die unmittelbar speicherbare Energiemenge limitiert. Um je nach zukünftiger Entwicklung höhere Ausbeuten zu erzielen, sind im Hybridwerk Aarmatt ein Ausbau der Elektrolyseurleistung sowie die Integration eines Batteriespeichers zur Verteilung der Solarstromspitzen möglich.

Herausforderungen für einen wirtschaftlichen Betrieb

Speichertechnologien werden in Zukunft eine wichtige Rolle spielen, darin sind sich viele Experten einig. Wie gesetzliche Rahmenbedingungen für einen zugleich energiestrategisch nützlichen und wirtschaftlichen Betrieb von Elektrolyseuren aussehen könnten, ist derzeit offen. Im Fall der Elektrolyseure darf man nicht erwarten, dass das produzierte Wasserstoffgas preislich mit Biogas oder gar Erdgas konkurrieren kann. Die Aufnahme von Überschussenergie dient sowohl der Entlastung der Netze als auch der saisonalen Speicherung und ist damit von energiestrategischem Interesse. Entsprechend muss der ökologische Mehrwert des produzierten Wasserstoffs honoriert werden.

Autoren

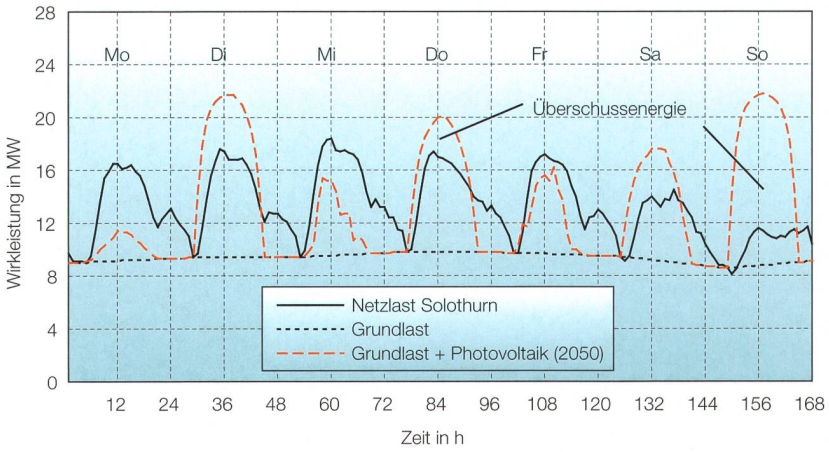


Bild 4 Prognostizierte Wirkleistung und Solarstromerzeugung in Solothurn für Anfang Juli 2050.

Autoren

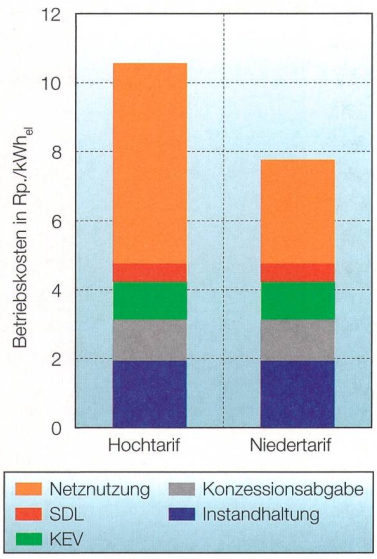


Bild 5 Betriebskosten der Elektrolyseure pro aufgenommene kWh Strom (ohne Energiepreis).

Um die heutige Situation etwas näher darzustellen, ist in **Bild 5** eine Zusammensetzung der ungefähren Betriebskosten der Elektrolyseure ohne den reinen Energiepreis (z. B. Strompreis an der Börse) dargestellt. Als Bezugsgrösse dient die aufgenommene Kilowattstunde Strom.

Da es in der Schweiz bislang keine Regelungen für Power-to-Gas-Technologien gibt, sind Elektrolyseure per Definition elektrische Endverbraucher. Die Stromkosten setzen sich daher neben den Energiepreisen auch aus Netznutzungsgebühren und Abgaben an Bund und Gemeinden zusammen. Letztere machen einen Grossteil der Stromkosten aus, während Hochtarifzeiten sind mehr als 50 % der Kosten auf die Netznutzung zurückzuführen.

Die auf eine Kilowattstunde zu entrichtenden Gebühren und Abgaben übertreffen in der Regel die derzeitigen Grosshandelspreise für Strom. Dieser Umstand verdeutlicht die Problematik der Wirtschaftlichkeit der Stromspeicherung, wenn Speichertechnologien wie Power-to-Gas per Definition Endverbraucher sind. Der Verbrauch von Strom führt auch bei sehr günstigen oder gar negativen Grosshandelspreisen zu hohen Kosten. Beachtet werden muss, dass bei einem Wirkungsgrad von rund 50 % zwei Kilowattstunden Strom für eine Kilowattstunde Wasserstoffgas aufgewendet werden. So liegen selbst zu Niedertarifzeiten die Herstellkosten für das produzierte Wasserstoffgas mit mindestens 15,4 Rp./kWh nur leicht unter den derzeit üblichen Verkaufspreisen von Ökogas.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Hält der Trend zu Fotovoltaikanlagen und deren derzeitige Ausbaugeschwindigkeit an, so kann die saisonale Speicherung überschüssigen Solarstroms bereits 2020 zum Thema werden. Im Hybridwerk Aarmatt stehen hierfür zwei Elektrolyseure bereit, die elektrische in speicherbare chemische Energie umwandeln. Damit das produzierte Wasserstoffgas vermarktet werden kann, müssen in der Schweiz noch gesetzgeberische Rahmenbedingungen geschaffen werden, die dessen ökologischen Mehrwert honorieren. Pumpspeicherkraftwerke, die ebenfalls der Speicherung dienen, sind per Gesetz von Netzkosten und Abgaben befreit.

Die Elektrolyseure des Hybridwerks Aarmatt werden voraussichtlich bis April 2015 installiert sein. Fachhochschulen werden die Anlage betreuen und in Versuchen zunächst die Durchmischung von Wasserstoff und Erdgas bei der Einspeisung sowie das Steuer- und Regelverhalten untersuchen. Theoretische Untersuchungen wurden bereits von der Hochschule Rapperswil im Rahmen dieser Studie erarbeitet. Auch energiestrategische Untersuchungen sollen weitergeführt werden. Dabei im Vordergrund steht etwa die Kombination der Elektrolyseure mit einem Batteriespeicher, um das Potenzial zur Aufnahme von Überschussenergie zu erhöhen. Daneben soll die Bereitstellung von Regelleistung, Möglichkeiten einer Abwärmenutzung sowie das Zusammenspiel der Elektrolyseure mit Blockheizkraftwerken untersucht werden.

Referenzen

[1] C. Kost, et al., Stromgestehungskosten erneuerbarer Energien, Studie des Fraunhofer-Instituts für solare Energiesysteme (ISE), 2013.
[2] A. Kirchner, et al., Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050, Studie der Prognos AG im Auftrag des Bundesamt für Energie (BFE), 2012.
[3] G. Anderson, K. Boulouchos und L. Bretschger, Energiezukunft Schweiz, Studie an der ETH Zürich, 2011.
[4] T. Hostettler, Markterhebung Sonnenenergie 2013, Studie der Swissolar im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE), 2014.
[5] R. Cattin, et al., Energiestrategie 2050, Berechnung der Energiepotenziale für Wind- und Sonnenenergie, Studie der Meteotest im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU), 2012.

Autoren

Sebastian Hoffmann ist wissenschaftlicher Mitarbeiter des Kompetenzzentrums Thermische Energiesysteme & Verfahrenstechnik an der Hochschule Luzern – Technik & Architektur.
Hochschule Luzern – Technik & Architektur, 6048 Horw
sebastian.hoffmann@hslu.ch

Dr. **Sabine Sulzer Worlitschek** unterrichtet Sustainable Energy Systems für die Abteilung Wirtschaftsingenieurwesen/Innovation an der Hochschule Luzern – Technik & Architektur. Sie leitet die Forschungsgruppe LUCCERNE im Rahmen der Energie-Kompetenzzentren des Bundes (SCCER).
sabine.sulzer@hslu.ch

Résumé

Stockage d'électricité solaire à la centrale hybride d'Aarmatt

Défis et opportunités de la conversion de l'électricité en gaz dans la commune soleuroise de Zuchwil

Avec la mise en œuvre de la Stratégie énergétique 2050, les technologies destinées au stockage à long terme de l'énergie excédentaire provenant des installations photovoltaïques ont gagné en importance. Ainsi, à la centrale hybride d'Aarmatt, près de Soleure, se développe actuellement un système énergétique innovant qui relie les réseaux d'électricité, de gaz naturel et de chauffage à distance. Dans le cadre de ce projet phare soutenu par l'OFEN, deux électrolyseurs sont pour la première fois construits afin de stocker l'énergie électrique sous forme d'hydrogène, qui pourra à son tour être injecté dans le réseau de gaz naturel.
L'implantation des électrolyseurs a été analysée sur le plan de la technique énergétique dans le cadre d'une étude menée par la Haute école de Lucerne. Celle-ci estime que l'énergie solaire excédentaire pourra être stockée sous forme d'hydrogène pendant 380 heures dès 2020 et plus de 2000 heures en 2050. À cette date, 7100 MWh d'énergie solaire seront donc déjà disponibles pour un stockage saisonnier à Soleure.
Du point de vue de l'économie énergétique, l'hydrogène gazeux produit n'est pas encore compétitif en termes de prix par rapport au biogaz ou au gaz naturel. C'est pourquoi, à l'heure actuelle, les électrolyseurs sont encore considérés comme des consommateurs finaux d'électricité. Outre le prix de l'énergie, le coût de l'électricité se compose ainsi de la redevance pour l'utilisation du réseau et des taxes versées à la Confédération et aux communes. Etant donné qu'avec un rendement de 50 %, il faut environ 2 kWh d'électricité pour produire 1 kWh de courant hydroélectrique, les coûts de production de l'hydrogène gazeux ne sont que très légèrement en-deçà des prix de vente habituels du gaz vert, même en période de bas tarif. C'est pourquoi il est nécessaire d'instaurer des conditions-cadres légales pour rétribuer la plus-value écologique de l'hydrogène produit. Se