Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 110 (2019)
Heft: 10

Artikel: Mit Speicherwasser gegen die Dunkelflaute
Autor: Beer, Michael / Kyburz, Rainer
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-855991

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: 11.07.2025

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

Im Winter soll einem möglichen Versorgungsengpass mit einer Speicherreserve begegnet werden (im Bild der Lago Bianco).

Bild: Simon Walther

Mit Speicherwasser gegen die Dunkelflaute

Dimensionierung einer Speicherreserve | Mit einer Speicherreserve soll die Stromversorgung der Schweiz auch dann gewährleistet werden, wenn Importe aus den Nachbarländern während Tagen bis Wochen stark eingeschränkt sind. Die vorliegende Analyse untersucht, welche Energiemengen wann in den Schweizer Speicherseen vorgehalten werden müssten, um dieses Ziel zu erreichen.

MICHAEL BEER, RAINER KYBURZ

Wenn in Europa zunehmend fossile und nukleare Kraftwerke stillgelegt und die Stromproduktion aus neuen Erneuerbaren ausgebaut wird, hat dies Auswirkungen auf die Versorgungssicherheit. Im Winter kann es zu einer kalten Dunkelflaute kommen, in der der Stromverbrauch wegen niedriger Temperaturen ausserordentlich hoch, die Produktion aus Photovoltaik jahreszeitbedingt tief und aufgrund der Wetterlage auch die Produktion aus Wind europaweit vorübergehend schwach ist. Es sind dies Situationen, welche für die Stromversorgung kritisch werden können.

Die Schweiz verfügt mit ihren Speicherkraftwerken über eine beträchtliche Produktionskapazität, die in solchen Knappheitssituationen zur Lastdeckung eingesetzt werden kann. Voraussetzung ist, dass die Speicherseen genügend gefüllt sind. Der Bundesrat schlug 2018 im Rahmen der Vernehmlassung zur Revision des Stromversorgungsgesetzes (StromVG) das Instrument einer Speicherreserve vor. Damit würde der Bund bei den Kraftwerksbetreibern gegen Entschädigung hinreichend Wasser reservieren, um diese Energie dann einsetzen zu können, wenn der Strommarkt auch bei maximalen Preisen Angebot und Nachfrage nicht mehr auszugleichen vermag; wenn also auch allfälliges Potenzial für Lastreduktionen vollständig ausgeschöpft wäre.

Speichereinsatz unter Importrestriktionen simuliert

Das hier genutzte Simulationsmodell errechnet den Einsatz der Schweizer Speicherkraftwerke zur Deckung der inländischen Last unter verschiedenen Annahmen zu unflexibler Produktion, Verbrauch und Import. Grundlage bilden öffentlich verfügbare historische Zeitreihen von Swissgrid [1] und dem BFE, welche bis ins Jahr 2009 zurückreichen. Sämtliche Schritte und Modellannahmen sind in [2] detailliert beschrieben.

Mittels heuristischer Schätzungen werden in einem ersten Schritt auf viertelstündlicher Basis die Nettolast (Verbrauch ohne Pumpen) sowie die nicht

aus Speicherkraftwerken stammende (als unflexibel angenommene) inländische Produktion hergeleitet. Auf Wochenbasis werden ausserdem die natürlichen Zuflüsse in die Speicherseen abgeschätzt.

Der zweite Schritt besteht darin, hypothetische Änderungen an diesen Zeitreihen vorzugeben, beispielsweise eine verringerte unflexible Produktion aufgrund der Stilllegung der Kernkraftwerke. Das Modell errechnet dann den Einsatz der Speicherkraftwerke, der in dieser Ausgangslage für die Deckung der Nettolast erforderlich ist. Dabei bleibt noch unberücksichtigt, ob in den Seen genügend Wasser vorhanden ist. Speicherpumpen werden im Rahmen der verfügbaren Kapazitäten eingesetzt, sofern die unflexible Produktion die zu deckende Nettolast übersteigt.

Schliesslich wird das neu ermittelte fiktive Einsatzprofil der Speicherkraftwerke mit den historischen Daten zu den Füllständen der Speicherseen und den natürlichen Zuflüssen verknüpft. Auf diese Weise lässt sich abschätzen, wie sich die Speicherfüllstände ab jedem Wochenbeginn entwickelt hätten, sofern sich die Ausgangslage wie im zweiten Schritt angenommen verändert hätte. Misst man dann die Zeit bis zur vollständigen Leerung der Seen, erhält man einen Indikator für die Selbstversorgungsfähigkeit des Schweizer Stromsystems. Ausserdem lässt sich ermitteln, wie gross der gespeicherte Wasservorrat zu jedem Zeitpunkt hätte sein müssen, um die Last in der neuen Ausgangslage während einer vorgegebenen Dauer decken zu können.

Durch das Abstützen auf eine Zeitreihe von fast zehn Jahren berücksichtigt das Modell implizit eine Vielfalt an möglichen Wetterbedingungen, die sowohl den Verbrauch als auch die unflexible Produktion beeinflussen. Allfällige Netzrestriktionen im Inland werden vernachlässigt.

Szenario	Status quo ohne Importe (Si)	Status quo ohne Importe und Kernkraft (Sik)	Status quo ohne Importe und Kernkraft, mit zusätzlicher PV (SikP)	Status quo ohne Importe und Kernkraft, mit zusätzlicher PV und zusätzlichem Verbrauch für Wärme und Mobilität (SikPW)
Importe	keine	keine	keine	keine
Unflexible Produktion	unverändert	reduziert um Kernenergie	reduziert um Kernenergie und erweitert um zusätzliche Photovoltaik	reduziert um Kernenergie und erweitert um zusätzliche Photovoltaik
Verbrauch	unverändert	unverändert	unverändert	erweitert um zusätzlichen Verbrauch für Heizung, Warmwasser und Elektromobilität

Tabelle 1 Simulierte Szenarien.

Maximale Produktionsleistung der Speicherkraftwerke	11,8 GW
Maximale Pumpleistung der Pumpspeicherkraftwerke	4,0 GW
Maximal am Stück pumpbare Energiemenge	300 GWh
Maximaler Inhalt der Speicherseen	8800 GWh
Minimaler Inhalt der Speicherseen	500 GWh
Effizienzfaktor der Speicherpumpen	0,8
Effizienzfaktor des Tagesspeichers	0,9

Tabelle 2 Eckwerte des Simulationsmodells.

Betrachtete Szenarien

In den vier hier dargestellten Szenarien (**Tabelle 1**) wird davon ausgegangen, dass die Schweiz ab dem jeweiligen Beobachtungs-Stichtag keinen Strom mehr importiert und die inländische Last vollständig aus eigener Kraft zu decken versucht. Dieser Annahme liegt die Vorstellung zugrunde, dass in Engpasssituationen die Systemstabilität gewahrt werden kann, wenn jedes Land im europäischen Verbund mindestens

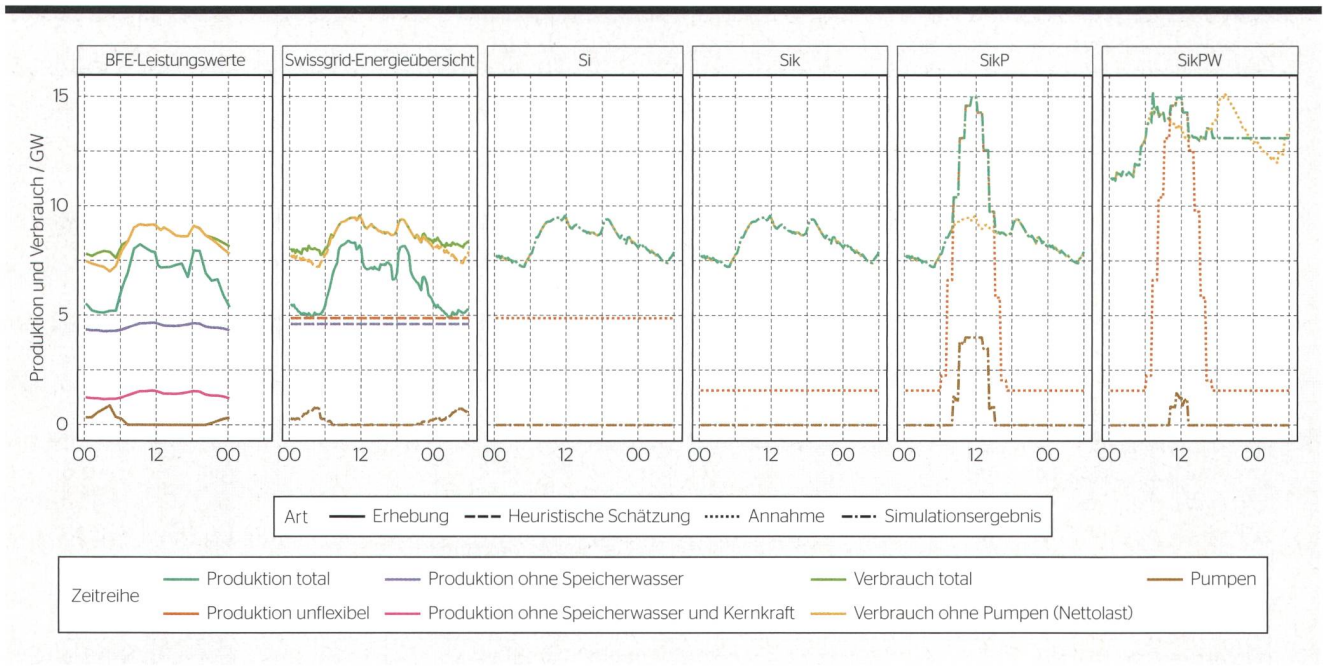


Bild 1 Produktions- und Verbrauchsprofile in den verschiedenen Szenarien am Beispiel des Zeitraums vom 18.2.2009, 0.00 Uhr bis 19.2.2009, 6.00 Uhr.

Bilder: CKW

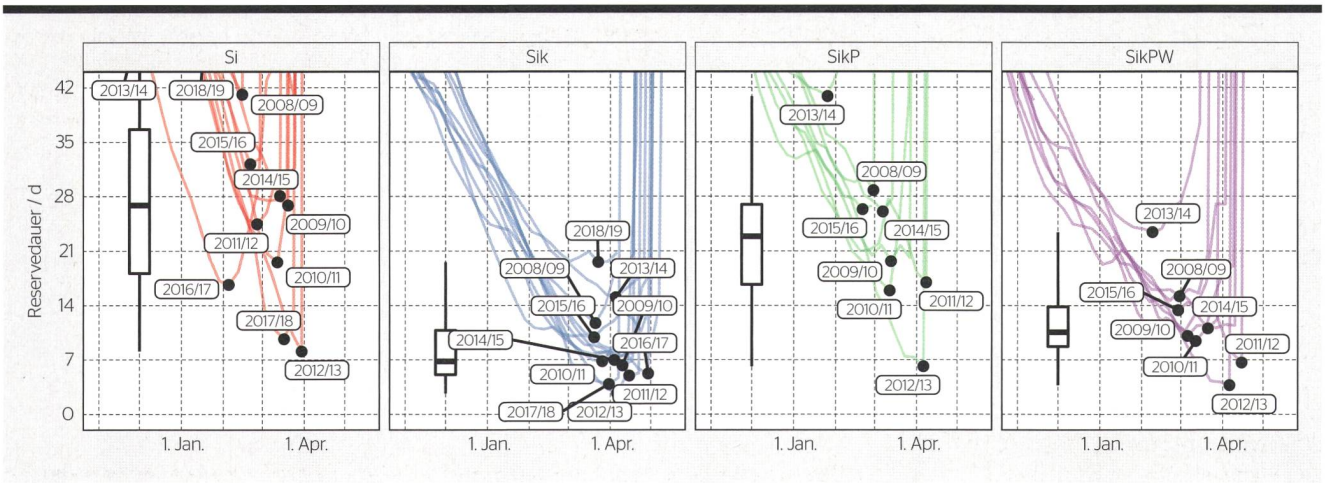


Bild 2 Bei unverändertem saisonalem Speicherverlauf resultierende Selbstversorgungsfähigkeit in den vier Szenarien.

in der Lage ist, seinen eigenen Verbrauch für eine bestimmte Zeit selbst zu decken. Ob ein Inselbetrieb des Schweizer Stromnetzes überhaupt technisch realisierbar wäre, spielt dabei eine untergeordnete Rolle.

Es wird zudem unterstellt, dass der bestehende inländische Kraftwerkspark mit Ausnahme der Kernkraftwerke mindestens gemäss den historischen Werten produzieren kann, dass also beispielsweise keine Wasserkraftwerke stillgelegt werden. Für die Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke wird der Ausbaustand angenommen, wie er nach der Inbetriebnahme von Nant de Drance erreicht werden wird. Konkret rechnet das Modell mit den in **Tabelle 2** angegebenen Eckwerten.

Das Szenario «Si» dient als Referenzszenario und stellt dar, wie sich das bestehende System im Falle eines Importstopps verhalten hätte. Der Stromverbrauch bleibt unverändert. Im Szenario «Sik» wird davon abweichend die verfügbare unflexible Produktion näherungsweise um den Anteil der Kernenergie reduziert.

Im Szenario «SikP» wird ergänzend zum Szenario «Sik» angenommen, dass die Hälfte des wirtschaftlichen beziehungsweise das ganze nachhaltige Potenzial der Schweizer Dachflächen zur Stromerzeugung mit Photovoltaik-Anlagen genutzt wird.[3] Dies entspricht einer installierten PV-Peakleistung von rund 26 GW und erlaubt bei angenommenen 950 Volllaststunden eine jährliche PV-Produktion von 25 TWh, was gerade der wegfallenden Jahresproduktion der Schweizer Kernkraftwerke entspricht. Für die Stromproduktion aus Windkraftanlagen, Biomasse und Geothermie wird angenommen, dass diese auf dem aktuellen Niveau bleibt. Basierend auf historischen Daten wurden entsprechende PV-Produktionsprofile für die Wetterjahre 2009–2016 auf Stundenbasis generiert und in der Simulation verwendet.[4]

Im Szenario «SikPW» wird zusätzlich auch die Verbrauchsseite angepasst, indem eine teilweise Elektrifizierung von Raumwärme und Brauchwassererwärmung sowie der Mobilität angenommen wird. Grundlage

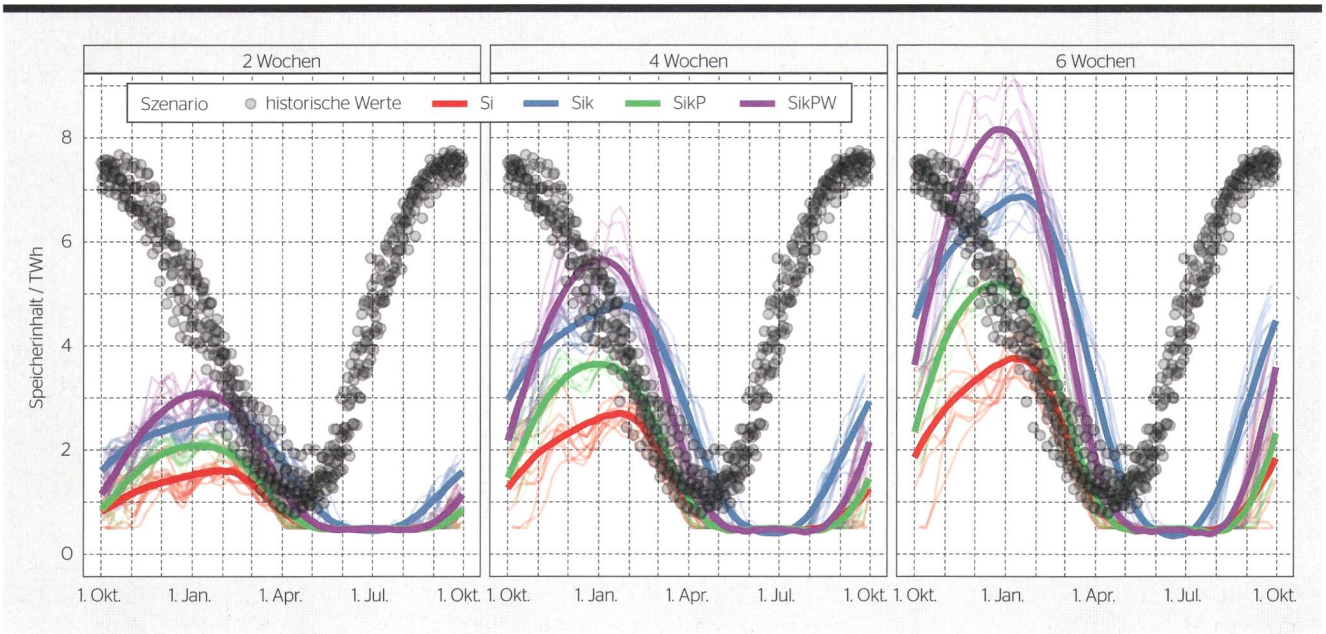


Bild 3 Historische und induzierte Mindestfüllstände für eine Selbstversorgungsfähigkeit von 2, 4 und 6 Wochen.

Szenario \ Reservedauer	2 Wochen		4 Wochen		6 Wochen	
Si	231	3 %	941	11 %	1855	22 %
Sik	1297	16 %	2843	34 %	4346	52 %
SikP	368	4 %	1043	13 %	1747	21 %
SikPW	1075	13 %	2737	33 %	4580	55 %

Tabelle 3 Maximal zusätzlich vorzuhaltende Wassermengen (in GWh und in Prozent der total nutzbaren Füllmenge).

hierfür bilden Zeitreihen der Empa [5], wovon jene zum Raumwärmebedarf an die Temperaturdaten der Betrachtungsjahre angepasst wurde. Die Empa-Studie nimmt an, dass der Schweizer Raumwärmebedarf auf Grund von Sanierungen, Neu- und Ersatzbauten um rund 40 % abnimmt, und dass der verbleibende Bedarf zu 75 % durch Wärmepumpen gedeckt wird. Bei der Mobilität wird angenommen, dass bei 20 % der im Strassenverkehr verbrauchten nutzbaren Antriebsenergie Verbrennungsmotoren durch batterie-elektrische Antriebe ersetzt werden. Falls dieser Technologiewechsel ausschliesslich bei Personenwagen stattfindet, entspricht dies 30 % der jährlich zurückgelegten Kilometer oder zwei Dritteln aller Fahrten.[6] Diese Annahmen führen zu einem zusätzlichen jährlichen Stromverbrauch für die Wärmeerzeugung und die Elektromobilität von durchschnittlich 10 beziehungsweise 3,7 TWh. Der resultierende zusätzliche Leistungsbedarf auf Stundenbasis beträgt dabei bis zu 7,2 GW.

Während die Szenarien «Si» und «Sik» für den Zeitraum von 2009 bis Mitte 2019 gerechnet werden konnten, war dies für die Szenarien «SikP» und «SikPW» aufgrund eingeschränkter Datenverfügbarkeit der zusätzlichen Produktions- und Verbrauchsprofile nur bis 2016 möglich.

Bild 1 zeigt die erhobenen, geschätzten, angenommenen und resultierenden Produktions- und Verbrauchsprofile gemäss BFE-Leistungsstatistik (erhoben jeweils nur für den dritten Mittwoch im Monat), Swissgrid-Energieübersicht [1] sowie den vier Szenarien. Beachtenswert sind insbesondere

- die Güte der Übereinstimmung zwischen der detaillierteren BFE-Leistungsstatistik und den aus den Swissgrid-Daten heuristisch geschätzten Zeitreihen,
- die Veränderung der angenommenen unflexiblen Produktion und des angenommenen Verbrauchs zwischen den Szenarien,
- das resultierende Profil der Gesamtproduktion und des Pumpeneinsatzes in den Szenarien sowie
- die Nutzung und Wiederbefüllung eines virtuellen Tagesspeichers zur Lastspitzendeckung ab ca. 17 Uhr im Szenario «SikPW» (daran erkennbar, dass die Totalproduktion zeitweise nicht dem Lastverlauf folgt).

Selbstversorgungsfähigkeit

Bild 2 stellt für die vier Szenarien dar, während wie vielen Tagen die Schweiz ihren Strombedarf im Frühjahr jeweils ohne Importe hätte decken können. Die saisonalen Minima sind durch Punkte hervorgehoben und deren Verteilung wird mittels eines Boxplots auf der linken Seite visualisiert.

Man erkennt anhand des Szenarios «Si», dass sich die Schweiz in den vergangenen Wintern stets während mindestens acht Tagen hätte selbst versorgen können, im Median über die Jahre sogar während mindestens 27 Tagen. Die knappsten Reserven wurden in den Wintern 2012/13 und 2017/18 jeweils im März erreicht. Eine zweiwöchige kalte Dunkelflaute hätte die Schweiz also meist problemlos durchhalten können. Nach Erreichen des Minimums entspannte sich die Situation zudem jeweils sehr rasch. Das liegt daran, dass nach Einsetzen der Schneeschmelze sofort mehr als genug Wasser zufliesst, um den gleichzeitig saisonal abnehmenden Strombedarf aus den inländischen Kraftwerken über längere Zeit zu decken.

Ein gleichzeitiger Ausfall beziehungsweise die Stilllegung sämtlicher Schweizer Kernkraftwerke (Szenario «Sik») hätte die Selbstversorgungsfähigkeit der Schweiz massgeblich reduziert. In der Hälfte der betrachteten

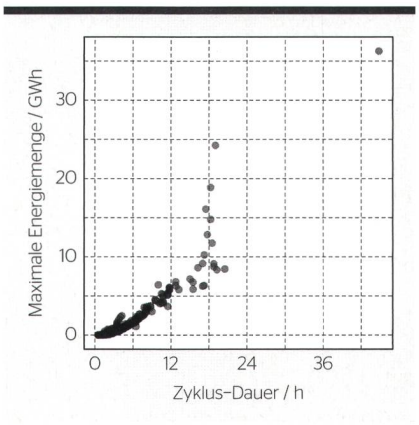


Bild 4 Dimensionierung des Tagesspeichers.

Jahre wäre im April ein Minimum von unter sieben Tagen erreicht worden. Freilich ist die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer kalten Dunkelflaute im April geringer als früher im Jahr, doch auch bereits im Februar lag die Reservedauer in den meisten Jahren in diesem Szenario jeweils unter 14 Tagen.

Der massive Zubau an Photovoltaik, wie er im Szenario «SikP» unterstellt wird, führt zurück zu einer ähnlich komfortablen Situation wie im Szenario «Si». Offenbar ist die Erzeugungsfähigkeit der Photovoltaik im Frühjahr bereits hinreichend gross, um den Wegfall der Kernenergie diesbezüglich zu kompensieren. Rechnet man allerdings zusätzlich noch mit einer Dekarbonisierung des Verkehrs- und Wärmesektors (Szenario «SikPW»), dann sinkt die Selbstversorgungsfähigkeit der Schweiz im Februar wiederum häufig auf unter zwei Wochen. Das Minimum liegt in einem Jahr wie 2012/13 bei unverändertem Füllstandsverlauf der Speicherseen Anfang April bei knapp vier Tagen.

Dimensionierung der Speicherreserve

Die angedachte Speicherreserve ist risikobasiert so zu dimensionieren, dass etwa eine kalte Dunkelflaute überstanden werden kann. Laut diversen Analysen [7] ist damit zu rechnen, dass eine solche Situation in Zentraleuropa bis zu 14 Tage dauern kann.

Bild 3 zeigt auf, welche Mindestfüllstände die Schweizer Speicherseen in den vier Szenarien im Jahresverlauf jeweils haben müssten, um eine Selbstversorgungsfähigkeit von zwei, vier

oder gar sechs Wochen zu gewährleisten. Die dicke farbige Linie stellt dabei eine geglättete Mittelung der einzelnen (dünn dargestellten) Einzeljahre dar. Die schwarzen Punkte zeigen die historisch beobachteten Füllstände – das Resultat des wirtschaftlich optimierten Einsatzes der Speicherseen durch die Kraftwerksbetreiber.

Wie bereits oben erkannt, erfordert eine Vorhaltung von Speicherwasser für 14 Tage Bedarfsdeckung im Szenario «Si» kaum einen Eingriff in die historische Bewirtschaftung der Seen. Lediglich in den Winterhalbjahren 2012/13 und 2017/18 hätten punktuell bis zu 230 GWh mehr Wasser vorgehalten werden müssen, was knapp 3 % des totalen nutzbaren Speichervolumens von 8,3 TWh ausmacht.

Im Szenario «Sik» sieht das schon deutlich anders aus. Es müssten zwischen Anfang Februar und Ende Mai punktuell bis zu 1,3 TWh (16 % des totalen nutzbaren Speichervolumens) mehr Wasser in den Seen behalten werden, als dies in der Vergangenheit der Fall war. In den Szenarien «SikP» und «SikPW» betragen die entsprechenden Werte 370 GWh (4 %) respektive 1,1 TWh (13 %).

Verlangt man eine Selbstversorgungsfähigkeit von vier oder gar sechs Wochen, so sind die Eingriffe in die Speicherbewirtschaftung entsprechend höher **(Tabelle 3)**. Im Szenario «SikPW» erreicht man bei sechs Wochen Reservedauer ausserdem die Kapazitätsgrenze der Speicherseen. Eine Vorratshaltung von drei bis vier Monaten, wie sie die Schweiz gestützt auf das Landesversorgungsgesetz für andere lebenswichtige Güter praktiziert, ist mit den Speicherseen somit nicht zu leisten. Aufgrund der Tatsache, dass beim Strom im Gegensatz zu allen übrigen Gütern aber Herstellung und Transport keine Vorlaufzeit zum Verbrauch beanspruchen, wäre es auch nicht angebracht, solches zu fordern.

Wichtig festzuhalten ist noch, dass eine Reservierung von Speicherwasser keineswegs über das ganze Jahr zu erfolgen hätte. Vielmehr kann die Ausschreibung so gestaltet werden, dass die Vorhaltemenge den dargestellten Pfaden folgt. Denkbar ist weiter, dass auch die geforderte Reservedauer gegen den Frühling hin gesenkt werden kann, wenn die Wahrscheinlichkeit einer lang anhaltenden Extremsituation abnimmt.

Es liegt auf der Hand, dass jeglicher Eingriff in die Speicherseebewirtschaftung für die Kraftwerksbetreiber grundsätzlich mit Opportunitätskosten verbunden ist. Diese sind vom Bund im Rahmen der Ausschreibung zu decken – als Prämie, die er für die zusätzliche Absicherung bezahlt. Wie hoch diese ausfällt, hängt im Wesentlichen vom Preis-Spread zwischen Winter (wo weniger Strom im Inland produziert würde) und Sommer (wo die Produktion gegebenenfalls nachgeholt würde) ab und ist entsprechend schwierig zu prognostizieren.

Dimensionierung Tagesspeicher

Interessant ist noch die Frage, wie gross der Bedarf an Tagesspeichern ist, die es im Szenario «SikPW» braucht. Dort treten nämlich Situationen auf, wo die verfügbare Produktionskapazität aus Speicherkraftwerken nicht ausreicht, um zusammen mit der unflexiblen Produktion die Nettolast zu decken. Typischerweise ist dies an Abendstunden im Winter der Fall. **Bild 4** stellt die maximale Energiemenge, die in der Simulation aus dem Tagesspeicher bezogen wird, mit der Zyklusdauer vom Beginn des Bezugs bis zur vollständigen Wiederbefüllung in Beziehung. Bis auf einen einzigen Ausreisser sind sämtliche Zyklen innerhalb von 24 Stunden abgeschlossen, und der Energiebezug liegt nicht über 25 GWh. Diese Funktion ist mit Batteriespeichern oder auch mit Lastmanagement zu leisten. Geht man davon aus, dass zukünftig sämtliche PV-Anlagen mit einer heute üblich dimensionierten Batterie (1 kWh nutzbarer Speicher pro kW Peak der PV-Anlage) ausgerüstet sind, ergäbe sich eine adäquate dezentrale Speicherkapazität von 26 GWh. Allenfalls liesse sich ein Teil der benötigten Kapazität auch durch Grossbatterien bereitstellen.

Erkenntnisse

Der mit der Energiestrategie 2050 beabsichtigte Umbau des Energiesystems schmälert die Selbstversorgungsfähigkeit der Schweiz. Dies zeigt die

RÉSUMÉ

Lutter contre le manque de soleil et de vent grâce à l'eau d'accumulation

Dimensionnement d'une réserve de stockage en Suisse

La transformation du système énergétique envisagée avec la Stratégie énergétique 2050 porte atteinte à la capacité d'auto-approvisionnement de la Suisse : c'est ce que montre l'analyse de l'Empa, globalement, pour le besoin d'importation cumulé sur l'année, de même que la présente analyse, localement, pour des périodes de quelques semaines avec des restrictions des importations. L'effet paraît alors nettement plus important lorsque la transformation s'accompagne d'une décarbonisation et d'une électrification significatives des secteurs de la chaleur et des transports.

L'instrument que constitue une réserve de stockage tel qu'il a été proposé avec la révision de la LApEl est fondamentalement approprié pour que la Suisse puisse se prémunir contre des pénuries à l'échelle européenne de courte durée, à savoir de quelques jours à quelques semaines, et ce solidairement avec les pays voisins. Si elle est habilement conçue, l'intervention nécessaire dans l'exploitation des dispositifs de stockage et les coûts d'opportunité qui y sont liés pour l'économie suisse restent limités.

Toutefois, cet instrument ne permet de résoudre ni la hausse de la dépendance aux importations sur l'ensemble du semestre d'hiver, ni l'insuffisance partielle de la profitabilité du parc indigène de centrales. Pour cela, des mesures supplémentaires sont nécessaires. Il faut alors prendre en considération que d'autres pays européens sont aussi en train de devenir des importateurs nets pendant le semestre d'hiver, en raison de la transformation de leur système énergétique. MR

Analyse der Empa [5] global für den übers Jahr kumulierten Importbedarf und dies zeigt die vorliegende Analyse lokal für Zeitfenster von jeweils wenigen Wochen mit Importrestriktionen. Der Effekt fällt dabei deutlich grösser aus, wenn gleichzeitig auch eine massgebliche Dekarbonisierung und Elektrifizierung des Wärme- und Verkehrssektors erfolgt.

Das Instrument einer Speicherreserve, wie es für die Revision StromVG vorgeschlagen wurde, ist grundsätzlich dazu geeignet, dass sich die Schweiz in Solidarität mit den Nachbarländern gegen kurze, einige Tage bis wenige Wochen andauernde, europaweite Engpässe absichern kann. Bei geschickter Ausgestaltung halten sich dabei der notwendige Eingriff in die Speicherbewirtschaftung und die damit verbundenen Opportunitätskosten für die Schweizer Volkswirtschaft in Grenzen.

Nicht lösen lässt sich mit diesem Instrument jedoch die steigende Importabhängigkeit übers ganze Winterhalbjahr und die partiell ungenügende Profitabilität des inländischen Kraftwerksparks. Dafür sind zusätzlich andere Massnahmen erforderlich. Dabei gilt es zu beachten, dass sich auch andere europäische Länder durch den Umbau ihres Energiesystems in Richtung Nettoimporteure während des Winterhalbjahrs entwickeln.

Referenzen

[1] swissgrid.ch/de/home/operation/grid-data.html

[2] Michael Beer, «Abschätzung des Potenzials der Schweizer Speicherseen zur Lastdeckung bei Importrestriktionen», Zeitschrift für Energiewirtschaft 42(1):1-12, März 2018, abrufbar unter doi.org/10.1007/s12398-018-0220-8.

[3] Jan Remund, Solarpotenzial Schweiz; Meteotest (im Auftrag von Swissolar), Bern, Januar 2017.

[4] data.open-power-system-data.org/ninja_pv_wind_profiles/, Package version 2017-07-19.

[5] Martin Rüdisüli, Sinan L. Teske, Urs Elber, «Impacts of an Increased Substitution of Fossil Energy Carriers with Electricity-Based Technologies on the Swiss Electricity System», Energies 12(12):2399, Juni 2019, abrufbar unter doi.org/10.3390/en12122399.

[6] Lukas Küng, Thomas Bütler, Gil Georges, Konstantinos Boulouchos, «Decarbonizing passenger cars using different powertrain technologies: Optimal fleet composition under evolving electricity supply.» Transp. Res. Part C Emerg. Technol. 95, 785–801, 2018, abrufbar unter doi.org/10.1016/j.trc.2018.09.003.

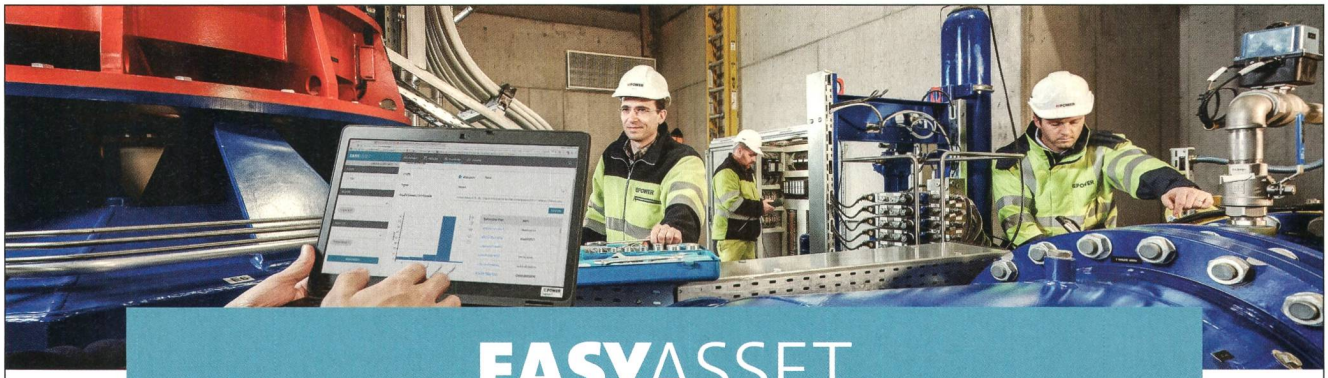
[7] Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages, Sicherstellung der Stromversorgung bei Dunkelflauten, 31. Januar 2019, WD 5 - 3000 - 167/18.

Autoren

Dr. **Michael Beer** ist Senior Manager Regulatory & Public Affairs bei CKW.
→ Centralschweizerische Kraftwerke AG, 6002 Luzern
→ michael.beer@ckw.ch

Dr. **Rainer Kyburz** ist Leiter Technologiemanagement bei CKW.
→ rainer.kyburz@ckw.ch

Die Autoren danken Martin Rüdisüli und Sinan L. Teske (Empa) für die Zurverfügungstellung der in [5] verwendeten Zeitreihen zum zusätzlichen Stromverbrauch aufgrund der Elektrifizierung von Wärme und Verkehr.



EASYASSET
ANLAGENMANAGEMENT LEICHT GEMACHT

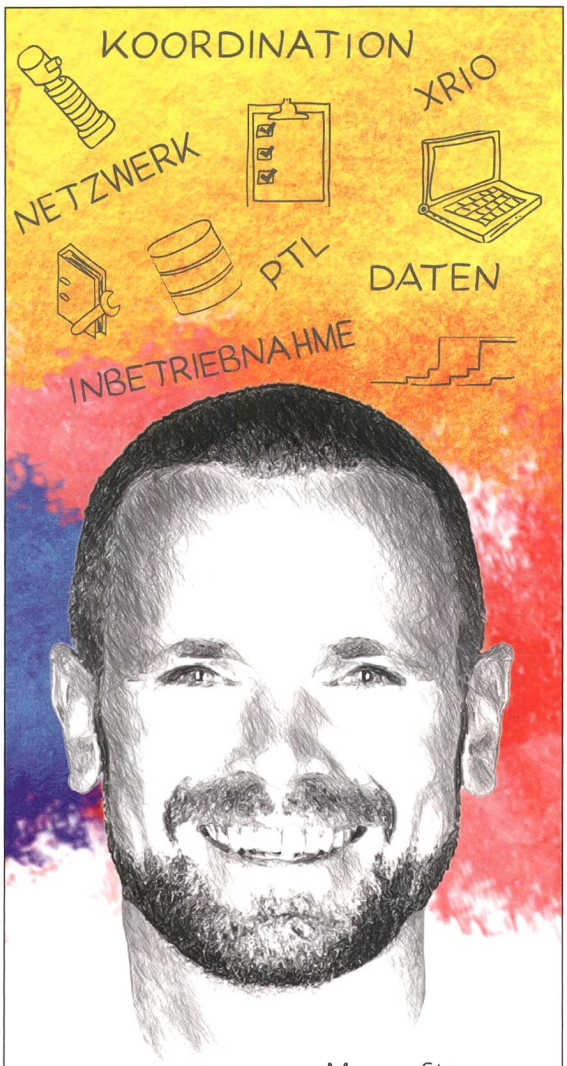
EASYASSET ersetzt ineffiziente Papierarbeiten durch eine digitale Erfassung:

- Sichere, zentrale und strukturierte Ablage
- Zeitersparnis dank geringer Vor- und Nachbearbeitung
- Offline-Inspektion und -Wartung
- Grafische Auswertung
- Zustandsbewertung
- Einfacher Import und Export
- Schnelle Mängelerkennung
- Anlagenortung mittels GPS

Sparen Sie Zeit, Geld und Nerven und verwalten Sie Ihre Anlagedaten sicher und zukunftsorientiert.

Weitere Informationen finden Sie unter
repower.com/easyasset

REPOWER
Unsere Energie für Sie.



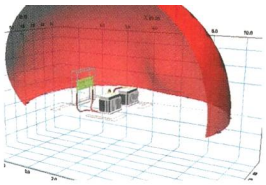
Marcus Stenner
Schutzspezialist

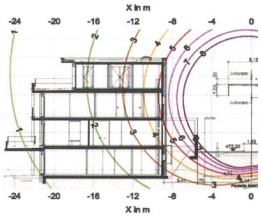
Sicherheit in der Schutzprüfung beginnt bei der Organisation

Bei der Prüfung von Schutzsystemen habe ich allein mit der Planung, Dokumentation und Archivierung alle Hände voll zu tun. Ich muss laufend Termine organisieren, zahllose Prüfprotokolle verfassen und notwendige Unterlagen bereithalten. Darum brauche ich auch vor Ort eine Lösung, mit der ich flexibel, effizient und einfach den Überblick behalte. Mit **ADMO** habe ich ein passendes Software-Werkzeug, das mich nicht zusätzlich beschäftigt, sondern ideal unterstützt.

www.omicronenergy.com/daten

OMICRON





messen
analysieren

NIS - Nichtionisierende Strahlung

beraten
simulieren

Beispiele aus unserer Dienstleistung

- Lückenlose Messung von Bahnmagnetfeldern mit hoher zeitlicher Auflösung
- Messung von Magnetfeldern bei zeitgleicher Erfassung der Ströme mit Hilfe von Netzanalysatoren
- Frequenzselektive Messungen
- Selektive Messungen von Funkdiensten
- Isotrope Messungen hoch- und niederfrequenter Felder
- Magnetfeldsimulation von Starkstromanlagen
- Berechnung von Strahlungswerten für OMEN im Bereich von Mobilfunkanlagen
- NISV-Beratung

ARNOLD

ENGINEERING UND BERATUNG
AG für EMV und Blitzschutz

CH-8152 Opfikon / Glattbrugg
Wallisellerstrasse 75
Telefon 044 828 15 51
info@arnoldeub.ch, www.arnoldeub.ch

VSEI electro suisse