

DIE ZUKUNFT DER ENERGIE IN ÖSTERREICH – SIMULATION VON FÜNF AUSBAU SZENARIEN EINES 100% ERNEUERBAREN STROMSYSTEMS IN KOMBINATION MIT HYBRIDEN ENERGIESPEICHERN

Jasmin MENSİK¹, David WÖSS², Tobias PRÖLL³

Inhalt und zentrale Fragestellungen

Wie könnte ein 100% erneuerbares Stromsystem für Österreich aussehen und wie wirken sich verschiedene hypothetische Ausbau-Faktoren der erneuerbaren Erzeugung auf den notwendigen Bedarf an Flexibilität aus? Unter der Berücksichtigung von realen Bedarfs- und Erzeugungsdaten des Jahres 2022 werden verschiedene Ausbauszenarien in Kombination mit einem hybriden Energiespeichersystem betrachtet. Hybride Energiespeichersysteme kombinieren verschiedene Speichertechnologien anhand der individuellen Stärken zu einem intelligenten System. Zusätzlich wurde für den Anwendungsfall der österreichische Regelzone die Prämisse aufgestellt, wenn möglich auf Bestandsinfrastruktur zurückzugreifen. Daraus resultiert ein hybrides Speichersystem aus Lithium-Ionen-Batterie, Pumpspeicherkraftwerk (Bestand) sowie Power-to-Gas (CH₄). Wobei bei der Rückverstromung mittels Gasturbinen-Kombiprozess in Kraft-Wärme-Kopplung ebenfalls auf Bestandsinfrastruktur zurückgegriffen werden kann. Inwiefern sich verschiedene hypothetische Ausbau-Faktoren der erneuerbaren Erzeugung auf den Bedarf an kurz-, mittel- und langfristiger Speicher auswirken, soll in weiterer Folge näher betrachtet werden.

Methoden, Datengrundlage und Annahmen in der Modellierung

Die präsentierten Ergebnisse basieren auf realen Last- und Erzeugungsdaten für die österreichische Regelzone im Jahr 2022, abgerufen von der „ENTSO-E Transparency Platform“ [1]. Im Gegensatz zu bestehenden, komplexeren Simulationstools wurde der Python-Algorithmus so simpel und transparent wie möglich gehalten, um eine rasche Bewertung verschiedener Szenarien und die flexible Anpassung derselben zu begünstigen [3]. Der gewählte Ansatz berücksichtigt lediglich den Ausgleich der faktorisierten erneuerbaren Erzeugung und der realen Last. Darüber hinaus werden keine weiteren Rollen für elektrische Energiespeicher (z.B. Arbitrage, Netzdienstleistungen, etc.) berücksichtigt. Import bzw. Export sowie potenzielle Netzengpässe werden im Rahmen dieser Arbeit ausgeblendet.

Das hybride Energiespeichersystem kombiniert die Technologien der Li-Ionen Batterie ($\eta_{\text{ges}} = 90\%$), Pumpspeicher ($\eta_{\text{ges}} = 70\%$) und Power-to-Gas (CH₄) mit anschließender Rückverstromung mittels Gasturbinen-Kombiprozessen in Kraft-Wärme-Kopplung ($\eta_{\text{ges}} = 30\%$). Die Lade- und Entladeleistung der Pumpspeichereinheit wurde, entsprechend der im Jahr 2022 installierten Pumpspeicherkapazität für die österreichische Regelzone, auf 3363 MW [2] begrenzt. Die Speicherkapazität der Pumpspeicher wurde wegen der Notwendigkeit, auch andere Länder zu bedienen, mit nur ca. 1/3 der tatsächlichen Kapazität, d.h. 1 TWh für den österreichischen Bedarf angenommen. Dadurch wird auch die zu erwartende Zunahme von Trockenperioden in der Zukunft berücksichtigt, welche die potenziellen Vorteile durch das ‚Repowering‘ bestehender Anlagen schmälert. Des Weiteren ist das Ausbaupotenzial für neue Anlagen in Österreich begrenzt. Die Priorisierung der Lade- und Entladeabfolge im hybriden Speichersystem hängt von der zyklischen Effizienz ab. In der Modellierung wurde hierfür eine kaskadische Abhängigkeit

¹ Universität für Bodenkultur Wien, Department für Materialwissenschaften und Prozesstechnik, Institut für Verfahrens- und Energietechnik (IVET), Muthgasse 107, 1190 Wien, +43 664 2452285, jasmin.mensik@boku.ac.at, <https://boku.ac.at/personen/person/71B0FB81EA0F6D51>

² Universität für Bodenkultur Wien, Department für Materialwissenschaften und Prozesstechnik, Institut für Verfahrens- und Energietechnik (IVET), Muthgasse 107, 1190 Wien, david.woess@boku.ac.at, <https://boku.ac.at/personen/person/EC0BCBBF6AC760D8>

³ Universität für Bodenkultur Wien, Department für Materialwissenschaften und Prozesstechnik, Institut für Verfahrens- und Energietechnik (IVET), Muthgasse 107, 1190 Wien, tobias.proell@boku.ac.at, <https://boku.ac.at/personen/person/6480D0431EE3FDB2>

der Ein-/Auspeicherleistung des Pump- und Power-to-Gas Speichers vom Füllstand des jeweils vorgelagerten Speichersystems mittels Proportionalregler (P-Regler) implementiert.

Für das Erzeugungsportfolio wurden lediglich die erneuerbaren Technologien Biomasse, Laufwasserkraft, Photovoltaik und Wind berücksichtigt. Um die Vision eines zukünftigen Systems zu modellieren, wurde das reale Erzeugungsprofil für Wind und Photovoltaik mit verschiedenen hypothetischen Ausbau-Faktoren skaliert. Für Laufwasserkraft und Biomasse wurde vereinfacht angenommen, dass diese auch in Zukunft auf dem Niveau von 2022 bleiben.

Tabelle 1 Übersicht der gewählten hypothetischen Ausbaufaktoren je Szenario

Beschreibung	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4	Szenario 5
Ausbau-Faktor Wind	6.93	4.48	2.8	1.46	1.0
Ausbau-Faktor Photovoltaik	1.00	15.00	30.00	45.00	51.20
Jahreserzeugung ges. [TWh]	77.36	73.41	75.97	80.97	83.71
Jahreserzeugung Wind [TWh]	49.79	32.19	20.12	10.49	7.19
Jahreserzeugung PV [TWh]	0.98	14.63	29.26	43.89	49.94

Ergebnisse

Die Simulationsergebnisse veranschaulichen, wie ein 100% erneuerbares Stromsystem für Österreich bei Verfügbarkeit ausreichender Speicherkapazitäten und Ein-/Auspeicherleistungen aussehen könnte. Innerhalb der berücksichtigten Annahmen und Systemgrenzen zeigt sich in Szenario 2, mit einem Windausbau um den Faktor 4.48 und einem Photovoltaikausbau um den Faktor 15, der geringste Speicherbedarf auf allen Zeitskalen. Szenario 2 resultiert in einer gesamten Jahreserzeugung von 73.4 TWh Strom. Davon entfallen 32.2 TWh auf die Winderzeugung_{faktoriert}, sowie 14.6 TWh auf Photovoltaik_{faktoriert}. Besonders deutlich wird das optimale Verhältnis im Hinblick auf den saisonalen Speicherbedarf. Im Szenarienvergleich zeigt sich eine Zunahme des Elektrolysebedarfs [GW] mit steigendem Anteil der Photovoltaik an der Gesamterzeugung. So ist der Bedarf an Elektrolyse in Szenario 2 um 41% geringer als in Szenario 5. In Szenario 2 beträgt die punktuelle maximale Elektrolyseleistung 11.6 GW wohingegen in Szenario 5 der Höchstwert bei 24.3 GW liegt. Auch die benötigte Rückverstromungsleistung ist in Szenario 2 mit 3.5 GW am geringsten und in Szenario 5 mit 4.4 GW an der obersten Grenze zu finden.

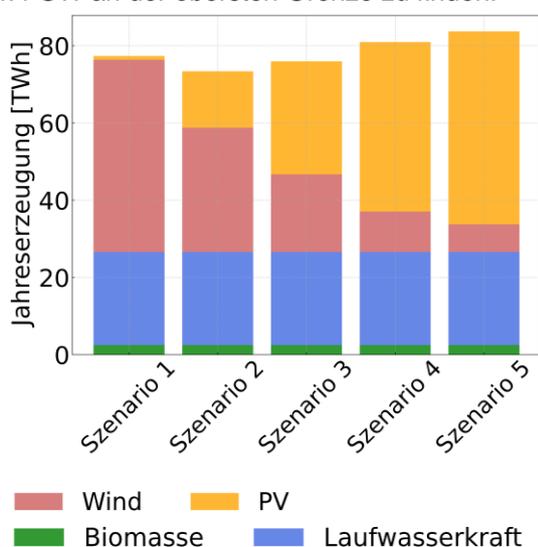


Abbildung 1: Jahreserzeugung [TWh] getrennt nach Technologie als Resultat verschiedener Szenarien

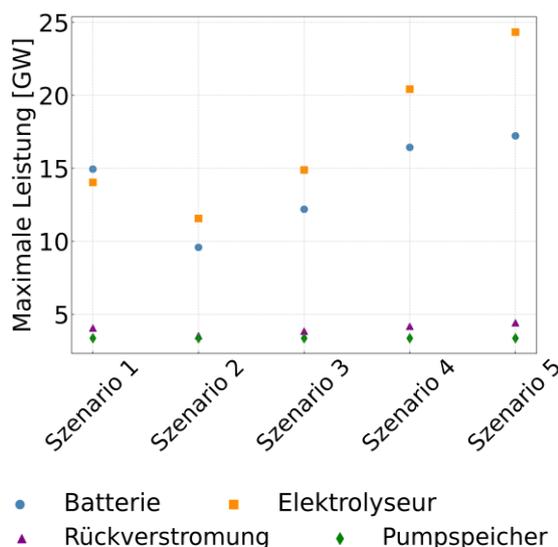


Abbildung 2: Punktuelle Spitzenlasten [GW] getrennt nach Technologie als Resultat verschiedener Szenarien

Die Pumpspeicherkraftwerke übernehmen im hybriden Energiespeichersystem aller Szenarien die Rolle der kurz- und mittelfristigen Flexibilitätsbereitstellung. Der kurzfristige Ausgleich zwischen Tag und Nacht wird durch die Li-Ionen Batterie abgedeckt. Die Modellierung verwendet für alle Szenarien eine Li-Ionen Batterie-Kapazität von 100 GWh, für die sich eine unkritische punktuelle Spitzenlast zwischen 9.6 GW (Szenario 2) und 17.2 GW (Szenario 5) ergibt.

Um das Zusammenwirken der einzelnen Komponenten im Sinne des Gesamtsystems näher analysieren zu können, wird eine Erweiterung des gegenwärtigen Modellierungsansatzes angeraten. Hierfür ist als unmittelbar nächster Schritt die Berücksichtigung der Netzinfrastruktur essenziell. Diese ermöglicht die Betrachtung konkreter Varianten der zentralen (Power-to-Gas) und dezentralen (Li-Ionen Batterie/ Power-to-Mobility) Positionierung der Speicher im System.

Referenzen

- [1] ENTSO-E, "Actual Generation per Production Type", entsoe Transparency Platform. <https://transparency.entsoe.eu/generation/r2/actualGenerationPerProductionType/show> (Aufgerufen 20. Juli 17, 2023).
- [2] ENTSO-E, "Installed Capacity per Production Type", entsoe Transparency Platform. <https://transparency.entsoe.eu/generation/r2/installedGenerationCapacityAggregation/show> (Aufgerufen 17. Juli 17, 2023).
- [3] Stubner, H., 2023, 'Erstellung eines Masteralgorithmus für die Regelung verschiedener Arten von Stromspeichersystemen im österreichischen Stromnetz', Masterarbeit, Universität für Bodenkultur Wien.