

# X-SMARTWIND: ENTSCHEIDUNGSUNTERSTÜTZUNG BEI DER WAHL VON SPEICHERTECHNOLOGIEN FÜR WINDPARKS

Lukas KROHN<sup>1\*</sup>, Petrit VUTHI<sup>1</sup>

## Einleitung

Bislang mussten bei der Realisierung von Windparks die Herausforderungen der Systemintegration nur unwesentlich berücksichtigt werden, da zum einen die Standortflächen für Windparks ausgewiesen werden und zum anderen die Attraktivität eines Standortes überwiegend vom Windertrag abhängt. Die steigenden Abregelungen durch Einspeisemanagementmaßnahmen, und die damit verbundenen steigenden Kosten für Entschädigungsansprüche stellen ein volkswirtschaftliches Risiko dar [1]. Deswegen muss für die konkrete Standortplanung zukünftig Fragen der Netz- und Systemintegration eine zentrale Rolle spielen. Eine verbesserte Systemintegration kann nicht nur die Netzengpassproblematik und die Abregelungen durch Einspeisemanagementmaßnahmen verbessern, oder sogar verhindern, sondern bietet auch die Möglichkeit zur Erschließung neuer Geschäftsmodelle für Windparkbetreiber. Die Frage mit welcher Technologie die Systemintegration technisch und wirtschaftlich sinnvoll gestaltet werden kann, stellt die Kernfrage im Forschungsprojekt X-SmartWind dar. Bei der Vielzahl an unterschiedlichen Speicher- und Umwandlungstechnologien mit ihren jeweiligen Vor- und Nachteilen ist es naheliegend, dass ein quantifiziertes Modell zur Entscheidungsunterstützung in der Planungsphase herangezogen wird [2]. Neben der richtigen Technologie ist die Dimensionierung der Technologie für die wirtschaftliche Betrachtung entscheidend. Mit Hilfe dieses Tools lässt sich aus einem klassischen Windpark ein Windspeicherkraftwerk erstellen.

## Methodik

Für die Bestimmung der Technologie und der Systemdimensionierung wird die lineare Optimierung verwendet. Diese besteht aus einer Zielfunktion und mehreren Nebenbedingungen [2], um Restriktionen abzubilden. Die Restriktionen berücksichtigen physikalische, technische als auch betriebswirtschaftliche Eigenschaften, beispielsweise in Form von Energiebilanzen, Wirkungsgarde und Betriebskosten. Die Zielfunktion beschreibt die Maximierung des monetären Gewinns des Windparks und besteht aus den Erlösen der EPEX Day-Ahead-Auktion, der Intraday-Auktion und dem Wasserstoffverkauf abzüglich der Kosten für die Speicher- und Umwandlungstechnologien. Die Day-Ahead- und Intraday-Auktionspreise von der EPEX [3] werden als Eingangsparameter eingelesen. Der Windertrag wird mittels hinterlegten Windgeschwindigkeiten und einer allgemeinen Leistungskurve berechnet [4]. Die Betrachtungsdauer der Optimierung beträgt ein Jahr, um saisonale Schwankungen zu berücksichtigen. Die Kosten der Speichertechnologien [5] [6] werden nach VDI 2067 [7] auf Annuitäten umgerechnet, damit diese den jährlichen Erlösen gegenübergestellt werden können.

Auf Basis von Winddaten und EPEX-Preisdaten von 2017 wird mit dem Optimierungstool die Speichertechnologie, Speichergröße und der Zielfunktionswert berechnet. Anschließend wird eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, in der die Lithium-Ionen-Batteriespeicherkosten [8], Preise für grünen Wasserstoff [9] und die Windparkleistung variiert wird. Die Analyse soll zeigen wie sich die Auswahl von Speichertechnologien und deren Größen auf die Variation auswirkt.

In der Analyse wird jeder der drei Parameter mit fünf unterschiedlichen Werten belegt, woraus sich 125 (5x5x5) Kombinationen für die Sensitivitätsanalyse ergeben. Eine Kombination bildet die aktuellen Kosten und Preise ab, woraus abgeleitet werden kann, ob Speicher- bzw. Umwandlungstechnologien zum aktuellen Zeitpunkt vor- oder nachteilhaft sind.

---

<sup>1</sup> Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Competence Center für Erneuerbare Energien und Energieeffizienz, Alexanderstraße 1, 20099 Hamburg, Tel.: +49 40 42875-{5818|5830}, {Lukas.Krohn|Petrit.Vuthi}@haw-hamburg.de, www.haw-hamburg.de/cc4e

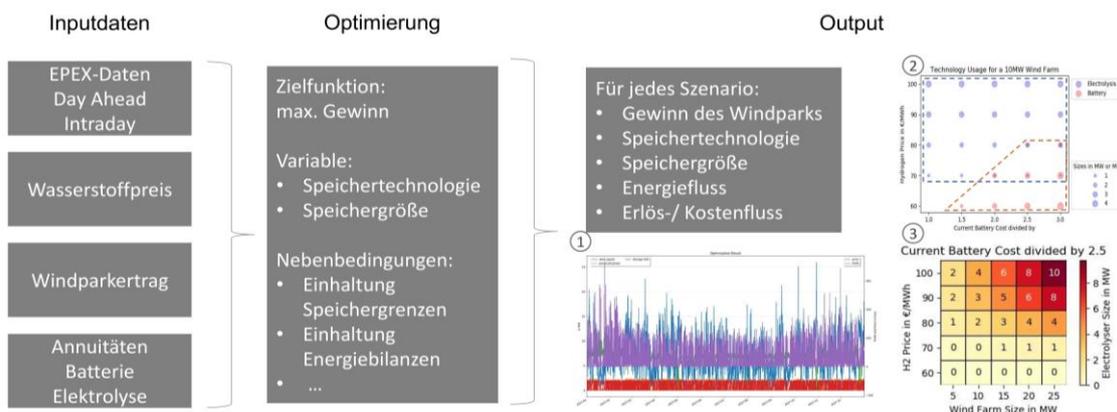


Abbildung 1 Ablaufdiagramm der Optimierung und Darstellungen der Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse

## Ergebnisse

Das Optimierungstool berücksichtigt derzeit Lithium-Ionen-Batteriespeicher und Elektrolyseure. Das Tool kann um weitere Speicher- und Umwandlungstechnologien sowie Geschäftsmodelle ergänzt werden. Erste Optimierungsergebnisse mit Winddaten und EPEX-Preisdaten aus dem Jahr 2017 zeigen, dass bei aktuellen Lithium-Ionen-Batteriespeicherkosten und Wasserstoffpreisen weder Lithium-Ionen-Batteriespeicher noch Elektrolyseure in einem Windpark wirtschaftlich betrieben werden können. Für ein 10 MW Windpark in Norddeutschland mit einem Jahreswindertrag von 31.000 MWh [10] zeigt die Sensitivitätsanalyse, dass die Kosten für Lithium-Ionen-Batteriespeicher um 33% sinken müssen, damit der Einsatz wirtschaftlich wird. In dem Fall beträgt die berechnete optimale Batteriekapazität 1.100 kWh. Für denselben Windpark muss der Wasserstoffpreis bei 70 €/MWh (2,10 €/kg H<sub>2</sub>) liegen, damit ein Elektrolyseur wirtschaftlich wird. Die berechnete optimale Elektrolyseleistung liegt in dem Szenario bei 920 kW. Diese Ergebnisse lassen sich in Abbildung 1 in Plot 2 erkennen. Ebenfalls wird in dem Plot ersichtlich, dass je nach Szenario die Lithium-Ionen-Batterie, der Elektrolyseur oder beide Technologien für einen Windpark ausgewählt werden. Die Heatmap in Plot 3 der Abbildung 1 visualisiert, dass die Elektrolyseleistung mit den Wasserstoffpreisen und der Windparkleistung ansteigt. Für jedes Szenario werden die Energie-, Kosten- und Erlösflüsse berechnet. Diese werden in Plot 1 der Abbildung 1 dargestellt. Für die Langfassung wird das Optimierungstool mit Datensätzen von 2016 und 2018 erweitert, um Ergebnisse für verschiedene Jahre zu vergleichen.

## Referenzen

- [1] Bundesnetzagentur, „Monitoringbericht 2019,“ 2019.
- [2] Koop und H. Moock, Lineare Optimierung, Springer, 2017.
- [3] EPEX SPOT SE, [Online]. Available: <https://www.epexspot.com/de/marktdaten>.
- [4] S. Heier, Windkraftanlagen - Systemauslegung, Netzintegration und Regelung, Springer, 2017.
- [5] T. Smolinka, N. Wiebe, P. Sterchele, A. Palzer, F. Lehner, M. Jansen, S. Kiemel, R. Mieke, S. Wahren und F. Zimmermann, „Studie IndWEde,“ NOW GmbH, 2018.
- [6] E. Rahimzei, K. Sann und M. Vogel, „Kompendium: Li-Ionen-Batterien,“ VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V., 2015.
- [7] Verein Deutscher Ingenieure e.V., „VDI-Richtlinie 2067 Blatt 1,“ 2012.
- [8] Thielmann, C. Neef, C. Fenske und M. Wietschel, „Energiespeicher-Monitoring 2018,“ 2018.
- [9] Nationale Plattform Zukunft der Mobilität, „ROADMAP PTX,“ 2019.
- [10] Fraunhofer - Institut für solare Energiesysteme ISE, „Stromgestehungskosten erneuerbare Energien,“ 2018.

## Förderhinweis

Das dem Bericht zugrundeliegende Forschungsprojekt X-SmartWind wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 13FH1|02|A gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.