

# OPTIMIERUNG DER DIMENSIONIERUNG VON BESS-SYSTEMEN IN HYBRIDEN PHOTOVOLTAIK-WINDPARKS IN BRASILIEN

Izabella Carneiro Bastos<sup>1</sup>, Paulo Barbosa<sup>2</sup> Tiago Sak<sup>3</sup>

## 1. Einführung

Diese Arbeit präsentiert die Anfangsphase der computergestützten Implementierung von Algorithmen und Codierungsrichtlinien zur optimalen Dimensionierung und zum Betrieb großskaliger Batteriespeichersysteme (BESS), die in Wind- und Solarparks integriert werden. Das jährliche Wachstum des Stromverbrauchs in Brasilien von etwa 1,5 % unterstreicht die Notwendigkeit von Lösungen, die die Effizienz des Energienetzes steigern und die Kosten für Endverbraucher senken [1]. Vor diesem Hintergrund gewinnen hybride Systeme, die erneuerbare Energiequellen mit BESS kombinieren, zunehmend an Bedeutung, da sie die natürliche Variabilität der Solar- und Windstromerzeugung ausgleichen und zur Reduktion des Curtailments beitragen, ein Phänomen, das im Land zunehmend relevant wird.

In der ersten Projektphase wurde ein umfangreicher Datensatz erstellt, der 20 Jahre an Wind- und Solarerzeugungsdaten umfasst. Diese Daten wurden sorgfältig ausgewählt und für das Optimierungsmodell des BESS-Systems aufbereitet. Die Analyse historischer Zeitreihen ist entscheidend, um die Variabilität der erneuerbaren Erzeugung zu verstehen und präzisere Projektionen zukünftiger Szenarien zu ermöglichen, insbesondere in Systemen, in denen die Intermittenz erneuerbarer Quellen die Versorgungssicherheit direkt beeinflusst.

Um die Repräsentativität der Modelle zu gewährleisten, wurden verschiedene Stichprobenverfahren auf die vollständigen Datensätze angewendet, wobei zentrale statistische Kennwerte wie Mittelwert, Standardabweichung und Dauerlinien erhalten blieben. Die Studie beschreibt die angewandten Methoden im Detail und begründet die Auswahl der bevorzugten Methodik, wobei die Bedeutung einer sorgfältigen Stichprobenahme hervorgehoben wird, um robuste Ergebnisse zu erzielen, die in realen Entscheidungsszenarien sowohl in Bezug auf Investitionen als auch auf den Betrieb des Systems [2] zuverlässig anwendbar sind.

## 2. Methodik

Die zunehmende Nutzung von Energiespeichersystemen trägt wesentlich zur Dekarbonisierung der Energieerzeugung bei, da überschüssige erneuerbare Energie gespeichert und in Zeiten geringerer Erzeugung genutzt werden kann. Diese Studie stellt die Prozesse und Hauptmerkmale der computergestützten Implementierung zur Optimierung der Kapazität eines BESS-Systems vor, das einem hybriden Wind-Solar-Park zugeordnet ist. Die Methodik wurde in drei Hauptschritte organisiert, Stichprobenbildung, Optimierung und Validierung, wie in Abbildung 1 dargestellt.

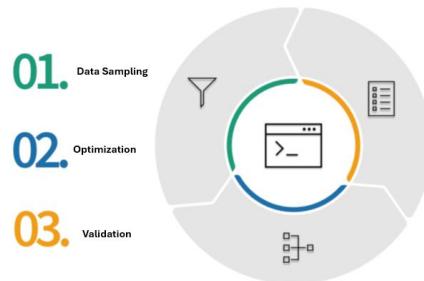


Abbildung 1: Schritte des Optimierungsprozesses des BESS-Systems

### 2.1 Stichprobenbildung

Es wurde eine stündliche Zeitreihe über 20 Jahre für die Wind- und Solarerzeugung konsolidiert, die insgesamt 175.200 Datensätze umfasst. Aufgrund des hohen Datenvolumens

<sup>1</sup> Izabella Carneiro Bastos, PosDoc Researcher at Montanuniversität Leoben, Austria,  
[Izabella.carneiro-bastos@unileoben.ac.at](mailto:Izabella.carneiro-bastos@unileoben.ac.at)

<sup>2</sup> Paulo Barbosa, Unicamp, Campinas, Brazil, paulobar@unicamp.br

<sup>3</sup> Tiago Sak, Unicamp, Campinas, Brazil, tiagosak@gmail.com

war die Anwendung von Szenarienreduktionsmethoden erforderlich. Für diese Arbeit wurde die Methode von Heitsch und Römisch (2003) [3] gewählt, da sie dafür bekannt ist, die statistischen Eigenschaften der Originalreihe, wie Mittelwert, Standardabweichung, Dauerlinie sowie weitere relevante Merkmale der erneuerbaren Erzeugung, zu bewahren.

## 2.2 Computergestützte Implementierung: Optimierung

Die Modellierung des Optimierungsproblems umfasst die Definition von Eingabeparametern, Entscheidungsvariablen, betrieblichen Einschränkungen und der Zielfunktion. Der wichtigste Eingabeparameter ist die stündliche Serie der erneuerbaren Erzeugung (Wind/Solar), die sowohl in ihrer vollständigen als auch in ihrer reduzierten Form verwendet wird. In Phase I wird als Zielfunktion die Minimierung des Curtailments angewendet. Jede reduzierte Beobachtung besitzt eine zugeordnete Wahrscheinlichkeit, die vom Szenarienreduktionsalgorithmus bereitgestellt wird. Diese Wahrscheinlichkeit wird in die Berechnung einbezogen, um das Gewicht jedes Szenarios im Optimierungsprozess angemessen zu berücksichtigen. Gleichung 1 zeigt die verwendete Zielfunktion im Detail.

$$\sum_{t=0}^T \text{curtailment}[t] \times \text{prob}[t]$$

Gleichung 1: Zielfunktion

## 2.3 Computergestützte Implementierung: Validierung

Die Validierung hat das Ziel, die Leistungsfähigkeit der durch den Optimierer dimensionierten Batterie zu bewerten, wenn sie dem vollständigen Datensatz der Erzeugung unter realitätsnahen Bedingungen ausgesetzt wird. In diesem Schritt wird überprüft, ob die ermittelte Kapazität den tatsächlichen Betriebsanforderungen über den simulierten Zeitraum von 20 Jahren gerecht wird. Die Simulation berücksichtigt die Lade- und Entladeprofile des BESS, den Ladezustand (State of Charge – SOC) sowie die zugehörigen Dimensionierungsparameter. Auf dieser Grundlage werden Kennwerte wie Mittelwert, Standardabweichung und Dauerlinie für das Laden, Entladen und den SOC des Systems berechnet. Ein weiterer relevanter Indikator ist die Anzahl der Zyklen, die auf Gesamt-, Jahres-, Monats- und Stundenbasis ausgewertet wird.

## 3. Ergebnisse und Diskussion

Für die Bewertung wurden drei Hauptparameter variiert: MUST (die minimale Leistung, zu deren Lieferung die Anlage gesetzlich oder vertraglich verpflichtet ist (MW): 465 und 480 MW; Batteriedauer (h): 1, 2 und 4 Stunden; Maximale Investition (in Mio. USD): 20, 50 und 100. Dies ergibt insgesamt 18 Kombinationen ( $2 \times 3 \times 3$ ). Zu Beginn wurde der Optimierer unter Verwendung ausschließlich der reduzierten Zeitreihen entwickelt und kalibriert. Als Vergleichsmetrik wurde die geringste Investitionskosten pro entladenen MW herangezogen. Die besten Ergebnisse wurden erzielt für: MUST = 465 MW

Maximale Investition = 20 Mio. USD

Batteriedauer von 2 bis 4 Stunden (Kosten von 95,38 bzw. 93,72 USD/MW).

Es ist hervorzuheben, dass die aktuelle Implementierung des Optimierers noch einen teilweise eingeschränkten Satz wirtschaftlicher und operativer Restriktionen berücksichtigt. Obwohl die Ergebnisse vielversprechend sind, wird erwartet, dass sie in den nächsten Entwicklungsphasen weiter an Robustheit gewinnen.

## 4. Referenzen

- [1] MARTINS, Ernane Rosa (Org.). **Sistemas de energia elétrica e computação aplicada**. Ponta Grossa - PR: Atena, 2022. 208 p. ISBN 978-65-258-0661-7. DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.617222209>
- [2] Barthelmie, R.J. & Pryor, S. C. **Climate change mitigation potential of wind energy**. Climate, 9(9):136, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/cli9090136>.
- [3] H., Römisch, W. **Scenario Reduction Algorithms in Stochastic Programming**. Computational Optimization and Applications 24, 187–206 (2003). <https://doi.org/10.1023/A:1021805924152>.