

MAXIMIERUNG DES ANTEILS ERNEUERBARER ENERGIEN ZUM BETRIEB EINES BATTERIEELEKTRISCHEN ZUGES DURCH AUSLEGUNG EINES STATIONÄREN BATTERIESPEICHERS

Paul LOHMANN¹, Michael KELKER¹, Katrin SCHULTE¹, Jens HAUBROCK¹

Einleitung

Der öffentliche Personen Nahverkehr (ÖPNV) ist in den letzten Jahrzehnten in vielen ländlichen Regionen reduziert worden. Um einen wirtschaftlichen Betrieb ländlicher Schienenverbindungen zu ermöglichen, können zukünftig batteriebetriebene Züge anstelle von Dieselnügen die ländlichen, nicht elektrifizierten Schienenstrecken erschließen. Diese Batteriezüge verursachen keine direkten Emissionen und erfordern keinen Ausbau von Oberleitungen. Um den CO₂ Ausstoß zu minimieren, wird der Strom zum Laden der Batterien aus lokalen erneuerbaren Energiequellen erzeugt. Hierfür gilt es zu untersuchen, wie groß ein stationärer Energiespeicher im Flächenkraftwerk sein muss, um den Anteil erneuerbarer Energien (EE) zu maximieren. Diese Auslegung wird exemplarisch an der Bahnstrecke von Verl nach Hövelhof, einer ländlich geprägten Region im Osten Nordrheinwestfalens, vorgenommen. Das Projekt ist Teil des FutureRail OWL – Projektes, gefördert durch die Regionale 2022, bei dem erforscht wird in wie weit autonom fahrende, batteriebetriebene Kleinzüge zur Reaktivierung einer Schienenstrecke eingesetzt werden können [1].

Methodik

Um einen stationären Energiespeicher für den Betrieb der Strecke von Verl nach Hövelhof zu dimensionieren, ist ein Software Modell in MATLAB/Simulink entwickelt worden. Die Simulation enthält Modelle der EE-Anlagen, der Ladestationen, eines zentralen Energiespeichers und eine Netzkopplung. In diesem Model wird ein Tagesverlauf im Dezember (geringste Solare Einstrahlung) mit verschiedenen Speichergrößen simuliert. Bewertet wird der Autarkigrad nach (1) gegenüber den Speicherkosten. Es wurde mit einem Preis von 84 € je Kilowattstunde Speicherkapazität gerechnet [2].

$$\eta_{\text{Autarkie}} = \frac{E_{\text{genutzteEE}}}{E_{\text{genutzteEnergie}}} \cdot 100\% \quad (1)$$

Bestimmung der Einspeisung durch erneuerbare Energien

Um den Leistungsverlauf der Photovoltaik (PV) Einspeisung zu modellieren, sind die in der Region Verl / Hövelhof installierte PV-Peak-Leistung mit dem Leistungsverlauf einer vermessenen PV Anlage validiert. Die Simulation ist auf 1 kWp normiert und bietet eine Auflösung in Viertelstundenwerte bezogen auf ein Jahr. Für die Biogasanlage wurde eine konstante Leistungsabgabe angenommen [3], welche sich an der in der Region installierten Leistung orientiert.

Bestimmung der Ladeleistung

Die Ladeleistung orientiert sich an dem Energieverbrauch des Zuges. Dieser ergibt sich aus den auftretenden Widerständen und den elektrischen Verbrauchern innerhalb des Zuges. Mit zunehmender Batteriekapazität ergibt sich ein höheres Gewicht, welches wiederum zur Bewegung mehr Energie benötigt. Die Kapazität wurde daher in mehreren Iterationen berechnet bis ein Optimum zwischen Gewicht und Batteriekapazität erreicht wurde. Zur Bewältigung der gesamten Strecke werden 34,2 kWh benötigt. Diese werden an zwei Ladestationen am Anfang und Ende der Strecke mit 137 kW innerhalb von 15 min nachgeladen.

Simulation des Speichers

Der simulierte Speicher bildet das Lade- und Entladeverhalten eines LiFePO₄ Akkus nach. Der Speicher wird bei 20°C betrieben mit einer Entladerate von 6 und einer Laderate von 5. Der Ladealgorithmus

¹ FH Bielefeld Institut für Technische Energie-Systeme (ITES), Interaktion 1 33619 Bielefeld, +49 521 106 70839, paul.lohmann@fh-bielefeld.de

lässt den Speicher dann laden, wenn entweder Leistung der PV- oder Biogasanlagen zur Verfügung steht, die nicht direkt für den Ladevorgang benötigt wird. Steht nicht genug Leistung aus erneuerbare Energiequellen für die Ladeanlagen zur Verfügung, gibt der Speicher die aufgenommene Energie mit der nötigen Leistung ab. Können EE-Anlagen und der Speicher nicht genügend Leistung zur Verfügung stellen wird die fehlende Leistung durch die Netzkopplung ausgeglichen.

Ergebnisse

Abbildung 1 stellt in Rot die Kostenzunahme bei steigender Kapazität dar. Dem gegenüber, in Blau dargestellt, der steigende Autarkiegrad bei steigender Kapazität. Wie der Abbildung zu entnehmen ist nimmt der Autarkiegrad mit zunehmender Batteriekapazität schnell zu. Bei Punkt A, ca. 47 kWh, kommt es zu einer Sättigung, ab diesem Punkt nimmt der Autarkiegrad nur noch langsamer zu. Dieser Bruch beruht darauf, dass der Speicher ab diesem Punkt innerhalb der Betriebszeit nicht mehr vollständig geladen wird. Die stetige Zunahme des Autarkiegrades in dem Bereich von 47 kWh bis 400 kWh kommt daher, dass mit der zunehmenden Speicherkapazität auch die Lade- / Endladeleistung zunimmt und mehr Energie aus erneuerbaren Quellen im Speicher aufgenommen und mit höherer Leistung abgegeben werden kann. Als Optimum in diesem Szenario ist der Punkt A auf der blauen Kurve, 47 kWh - 73% - ca. 4000 € zu werten, gekennzeichnet durch die schwarze Linie. Eine weitere Erhöhung der Kapazität bietet keinen großen Zuwachs der Autarkie und steht nicht im Verhältnis zu der Kosten Zunahme. Bei einer Speichergröße von 47 kWh werden 303 kWh aus dem Netz bezogen mit einer maximalen Leistung von 91 kW. In Summe werden für den Betrieb der Bahn von 5:30 bis 22:00 Uhr 1.132 kWh benötigt. Insgesamt fährt der Zug in diesem Zeitfenster 17-mal zwischen den Stationen Verl und Hövelhof.

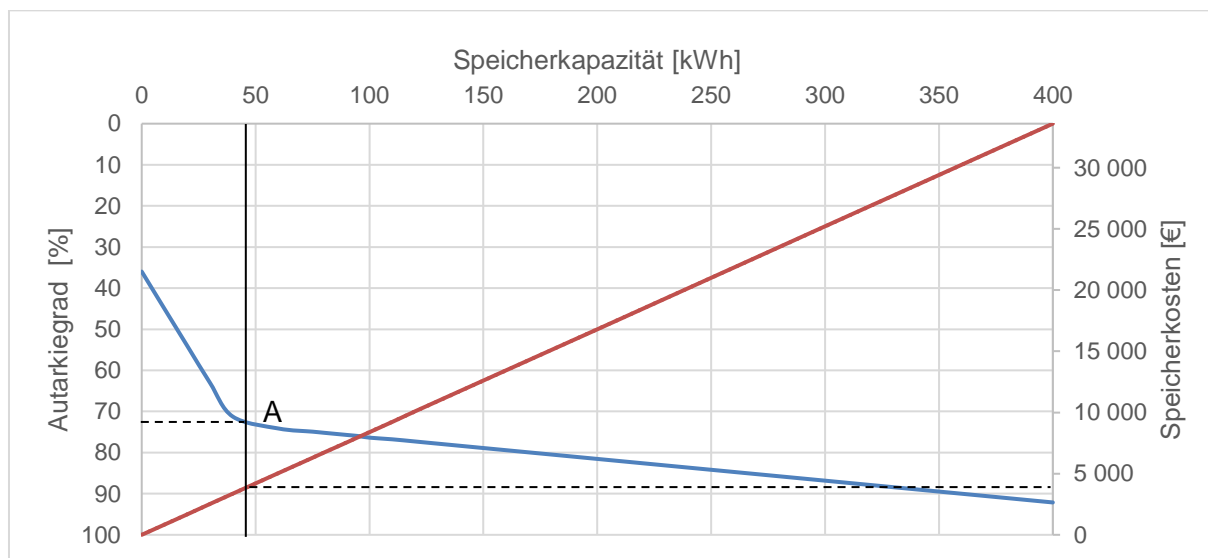


Abbildung 1 – Autarkiegrad und Speicherkosten gegenüber der Speichergröße – 24 Stunden im Dezember

Referenzen

- [1] Projekt „Future Rail OWL“ | FH Bielefeld. [Online] Verfügbar unter: <https://www.fh-bielefeld.de/presse/pressemitteilungen/projekt-future-rail-owl>. Zuletzt geprüft am: 21.11.2019.
- [2] Andreas Ahlswede, Preisentwicklung von Lithium-Ionen-Batterien bis 2020 | Statista. [Online] Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/534429/umfrage/weltweite-preise-fuer-lithium-ionen-akkus/>. Zuletzt geprüft am: 21.11.2019.
- [3] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe; Deutsches BiomasseForschungsZentrum; Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft; Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik, Leitfaden Biogas: Von der Gewinnung zur Nutzung, 7. Aufl. Rostock: Druckerei Weidner, 2016.