



## Rangierlokomotiven

### Spezifikationen und Anforderungen

- Ca. 200 kW Leistung bei Batteriebetrieb
- Größe des Batteriespeichers ca. 120 kWh
- Der Batteriespeicher soll bei Fahrten unter der Oberleitung und unter Diesel wieder geladen werden können
- Erreichen des geforderten Fahrprofils mit einem initialen SOC von 50%
- Lebensdauer des Batteriespeichers idealerweise 20 Jahre
- Idealspannung des Batteriespeichers mit 1500 V

### Ausgangssituation

Verschubbeinsätze werden häufig mit Dieselloks durchgeführt, obwohl diese Einsätze zum großen Teil unter Oberleitung erfolgen. Grund hierfür ist meist die sogenannte "letzte Meile", dies sind beispielsweise oberleitungsfreie Betriebseinfahrten, die von Elektrolokomotiven nicht bedient werden können. Diesellokomotiven sind hinsichtlich Energie- und Wartungskosten allerdings teurer und weisen einen relativ hohen Motorleeraufwand auf. Aufgrund von Lärm und Abgasen ist deren Einsatz vor allem in bewohnten Gebieten sowie Tunnels problematisch.

### Ziel der Anwendungsanalyse

In der Anwendungsanalyse soll die technische und wirtschaftliche Machbarkeit des Einbaus von Batterien als zusätzliche unabhängige Energiequelle in einer elektrischen Rangierlokomotive analysiert werden.

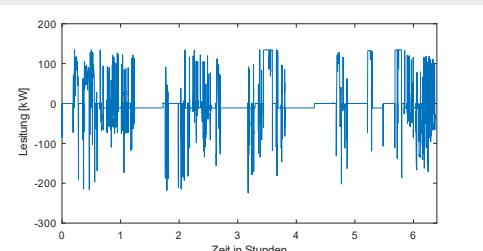
### Methodik

Zur Analyse wird die im Projekt SimBAS entwickelte Toolchain verwendet. Die Toolchain besteht aus drei aufeinander aufbauenden Tools, welche über Schnittstellen die jeweiligen Inputs des vorhergehenden Tools verarbeiten können. Kurz zusammengefasst handelt es sich bei der Toolchain um das ISEA Cell & Pack Database (ICPD) der RWTH Aachen welches Zellmodelle für die Simulation erstellt, den Battery System Designer (BaSD) des Fraunhofer IISB, welches die geometrische Auslegung von Batteriespeichern für einen geforderten Bauraum vornimmt, und das Tool Simulation of stationary energy storage systems (SimSES) der TUM, welches den ausgelegten Speicher

importiert und gegen die geforderte Applikation simuliert, um zu berechnen, ob der Speicher die Anforderungen erfüllt. So können verschiedene Speichertechnologien systematisch für die Verwendung getestet werden.

### Anforderungen

Als Basis für die Betrachtung von Batteriespeichern in Rangierlokomotiven dient hier die DE 18 von Vossloh Rolling Stock, welche aktuell lediglich mit einem dieselelektrischen Antrieb verfügbar ist und in Zukunft auch als hybride Variante angeboten werden soll. Hierbei soll auf der Lok ein kombinierter Antrieb bestehend aus Dieselmotor, Stromversorgung via Oberleitung und Stromversorgung via Batterie zum Einsatz kommen.



Die obige Grafik zeigt ein repräsentatives Lastprofil des Batteriespeichers der Lok über den Zeitraum von ca. 6,5 Stunden im Rahmen eines Gütertransports. In diesem Fall wird ein Anwendungsszenario betrachtet, in dem der Batterieantrieb sowohl für die Beschleunigung als auch für die dauerhafte Fahrt genutzt wird. Eine andere Möglichkeit wäre beispielsweise ausschließlich den Dieselantrieb für die Beschleunigung zu nutzen, um die Belastung des Batteriespeichers zu verringern. Außerdem wird in dem gezeigten Profil ein Laden



## Rangierlokomotiven

des Speichers durch die Oberleitung und durch den Dieselantrieb berücksichtigt.

### Batterieauswahl

Die Auswahl der betrachteten Batterien bedient sich aus der vorhandenen Datenbank und umfasst die gängigsten Technologien und Gehäusetypen. Bei der NCR18650PD von Panasonic handelt es sich um eine klassische Rundzelle mit NCA Technologie. Die US26650FTC1 von SONY ist ebenfalls eine Rundzelle, jedoch in etwas größerem Format basierend auf LFP und die Samsung SDI 94 Ah ist eine prismatische NMC Zelle speziell für Großspeicheranwendungen.

Typ	SONY US26650FTC1	Panasonic NCR18650PD	Samsung SDI 94Ah
Technologie	LFP	NCA	NMC
Dimensionen [mm]	26 x 65 (D x H)	18 x 65 (D x H)	173 x 45 x 125 (L x B x H)
Energie [Wh]	9,6	10,44	350
Preis [€]	4,1	3,2	131

Die jeweilige Zelle bietet für die geforderte Anwendung gewisse Vorteile. So hat eine LFP eine potentielle lange Lebensdauer und Sicherheit, eine NCA Zelle eine hohe Energiedichte und die NMC Zelle durch das prismatische Format eine sehr gute Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Platzes. Keine der Batterietypen bildet jedoch von vornherein alle Anforderungen ideal ab.

### Gesamtspeicher

Als Bauraum steht in der Lok ein Volumen von LxBxH 4560 x 1565 x 1920 mm zur Verfügung.

Typ	Nominal Voltage [V]	Series Cells	Parallel Cells
SONY US26650FTC1	1500	469	27
Panasonic NCR18650PD	1500	405	29
Samsung SDI 94Ah	1265	1	343

Die obige Tabelle zeigt die notwendigen Speicherkonfigurationen mit Fokus auf Erreichen der geforderten Gesamtkapazität des Speichers. Hier zeigt sich, dass das Format der Samsungzelle ungeeignet ist, da bei diesem Fokus die angestrebte Spannung des Batteriespeichers von 1500 V nicht erreicht wird. Es wäre bei diesem Zelltyp also notwendig, einen überdimensionierten

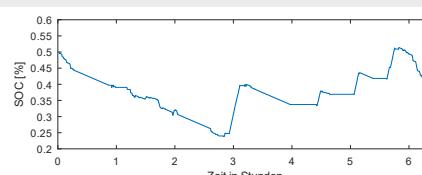
Speicher zu verwenden. Die beiden Zellen in zylindrischer Ausführung können die Anforderung jedoch problemlos erfüllen. Das BauRaumTool BaSD bestätigt außerdem, dass alle drei Batterievarianten in den aufgeführten Speicherkonfigurationen in dem vorhandenen Bauraum integriert werden können.

### Speichersimulation

Nun werden noch mittels SimSES die erarbeiteten Speicherkonzepte gegen das vorgestellte Lastprofil simuliert, um die Eignung der Konzepte hinsichtlich des konkreten Einsatzzwecks zu evaluieren. Für die einzelnen Speicherkonzepte haben sich kurz zusammengefasst folgende Ergebnisse bei der Simulation ergeben:

#### SONY US26650FTC1

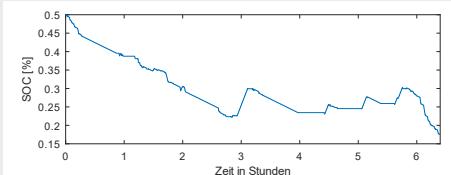
Das Speicherkonzept basierend auf der SONY Batterie konnte das geforderte Lastprofil zu 99,73% erfüllen. Das einzige Problem, welches dazu führt, dass die Anforderung nicht zu 100% erfüllt werden kann, ist, dass der Speicher in den anfallenden Ladespitzen nicht in der Lage ist, den Strom komplett aufzunehmen.



Wie man jedoch an dem obigen SOC Verlauf sehen kann, besteht trotz der Ladeprobleme jedoch nicht die Gefahr, dass man mit dem Speicher das Fahrziel erreichen kann.

#### Panasonic NCR18650PD

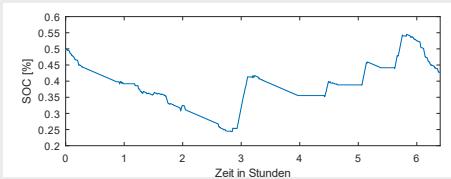
Wie bei dem vorherigen Speicherkonzept tritt auch bei dem Konzept basierend auf der Batterie von Panasonic eine Limitierung beim Laden der Zellen auf. Bei diesem Batterietyp ist die Limitierung jedoch sehr viel stärker, weshalb das Lastprofil nur zu 95,75% erfüllt werden kann. Dies macht sich auch deutlich im SOC des Speichers bemerkbar, welcher am



Ende der Fahrt lediglich bei ca 15% liegt im Vergleich zum auf SONY Zellen basierenden Batteriespeicher mit deutlich höheren 38%.

#### Samsung SDI 94Ah

Das Speicherkonzept basierend auf der Samsung Batterie scheint laut Simulation am vielversprechendsten.



Der Speicher erfüllt die Anforderungen zu 100% und hat am Ende der Fahrt noch einen SOC von 43% und liegt somit noch über der auf SONY basierendem Speicherkonzept.

#### Vergleich zu herkömmlicher Lösung

Im Vergleich zur herkömmlichen Lösung ist durch eine zumindest teilweise Umstellung des Antriebs auf einen Batteriespeicher mit keiner Einschränkung der Nutzungsmöglichkeit zu rechnen. Durch die Tatsache, dass die Streckenabschnitte ohne Oberleitung nicht sehr lang sind und perspektivisch regelmäßig eine Versorgung via Oberleitung möglich ist, stellt die Überbrückung der nicht versorgten Abschnitte mittels eines Batteriespeichers eine sinnvolle Alternative zum Dieselantrieb dar. Zusätzlich sind die so ausgestatteten Lokomotiven gut gerüstet für die Mobilität der Zukunft.

#### Kontakt

Andreas Würsig

Tel.: +49 4821 17 4336

[andreas.wuersig@isit.fraunhofer.de](mailto:andreas.wuersig@isit.fraunhofer.de)