

# EIN CONTAINERTERMINAL ALS FLEXIBLER VERBRAUCHER – OPTIMIERUNG DER LADEPROZESSE VON ELEKTROFAHRZEUGEN IM SCHWERLASTVERKEHR

Serge RUNGE<sup>1</sup>, Norman IHLE<sup>1</sup>, Christoph GUTSCHI<sup>2</sup>,  
Karlheinz GÖDDERZ<sup>3</sup>

## Rahmenbedingungen in einem Containerterminal

Viele Nutzfahrzeuge weisen Fahrprofile auf, bei denen eine Elektrifizierung des Antriebs erwogen werden kann. Insbesondere bei geschlossenen Transportsystemen finden sich nahezu optimale Bedingungen für den Einsatz von Fahrzeugen mit Elektromotoren. Dies ist daran festzumachen, dass die Fahrzeuge häufig halten und anfahren müssen und bei den Fahrzeugen zumeist nur moderate Endgeschwindigkeiten zugelassen werden. Ein Containerterminalbetrieb stellt zudem ein vorzügliches Gebiet für die Verwendung elektrischer Batteriespeichersysteme in den Fahrzeugen dar, da er sich durch regelmäßigen Fahrzeugeinsatz, geringe Nutzungskonflikte und hohe Tagesfahrleistungen auszeichnet. Zusätzlich können die Standorte der Batteriesysteme und ihre Ladezustandsentwicklung innerhalb des Transportareals sehr gut nachvollzogen werden, wodurch der Energiebereitstellungsprozess für die Elektrofahrzeuge planbar und steuerbar wird. Auf Basis einer Vorhersage für das Aufkommen von Transportaufträgen kann Aufschluss darüber gewonnen werden, wie viel elektrische Energie die Fahrzeuge zu welcher Zeit verbrauchen werden und wann diese über Ladeprozesse nachzuführen ist. Diese Vorhersagemöglichkeiten erlauben es zum Beispiel einem Containerterminalbetrieb, die Batteriesysteme quasi als stationär zu behandeln und sie einer energiewirtschaftlich optimierenden Anlageneinsatzplanung hinzuzuziehen.

Dennoch bleiben sie über den gesamten Planungszeitraum hinweg den vorherzusehenden Logistikanforderungen unterworfen und müssen vorrangig für das Erfüllen von Transportaufträgen zur Verfügung stehen.

## Bewirtschaftung quasi-stationärer Batteriespeichersysteme

Das Projekt BESIC („Batterie-Elektrische Schwerlastfahrzeuge im Intelligenten Containerterminalbetrieb“) befasst sich mit der Planung der Betriebsabläufe zur Bewirtschaftung des Batteriespeichervolumens im wasserseitigen Horizontaltransportbereich eines maritimen Containerterminals unter Anwendung eines Batteriewechselkonzepts. Die Wechselbatterien sind in Abhängigkeit von einer voraussichtlichen Transportlast einen Tag im Voraus zu subaggregieren, um in der Ausrichtung auf die Kosten des Strombezugs und die Erlöse aus einem Angebot von Minutenreserve eine größtmögliche Senkung der Energiekosten herbeizuführen. Das Transportauftragsaufkommen kann anhand von Informationen über die eintreffenden Schiffe und die Anzahlen der zu importierenden und zu exportierenden Container bestimmt werden. Zur Indikation der Strombezugspreise werden die Ergebnisse der sogenannten Stundenkontrakte im Vortagshandel herangezogen; zur Einschätzung der Leistungspreise für den Minutenreservemarkt dienen anonymisierte Zuschlagsergebnisse einer Tagesausschreibung der Vorwoche.

Nach derzeitigem Stand der Automatisierung werden die batterie-elektrischen Fahrzeuge ab einem gewissen Reserveniveau des Ladezustands zu einem Batterietausch an die Ladestation beordert. Es ist nicht möglich, dem Erreichen des Reserveniveaus vorzugreifen und ein Fahrzeug vorweg für einen Batterietausch an die Station zu holen. Aus diesem Grund werden die Batterieeinsatzaktivitäten nach einfachen Prioritäts- und Auswahlregeln geplant, so dass der Fahrbetrieb und die Stationsaufenthalte der Wechselbatterien der Automatisierung im Feld gerecht werden.

---

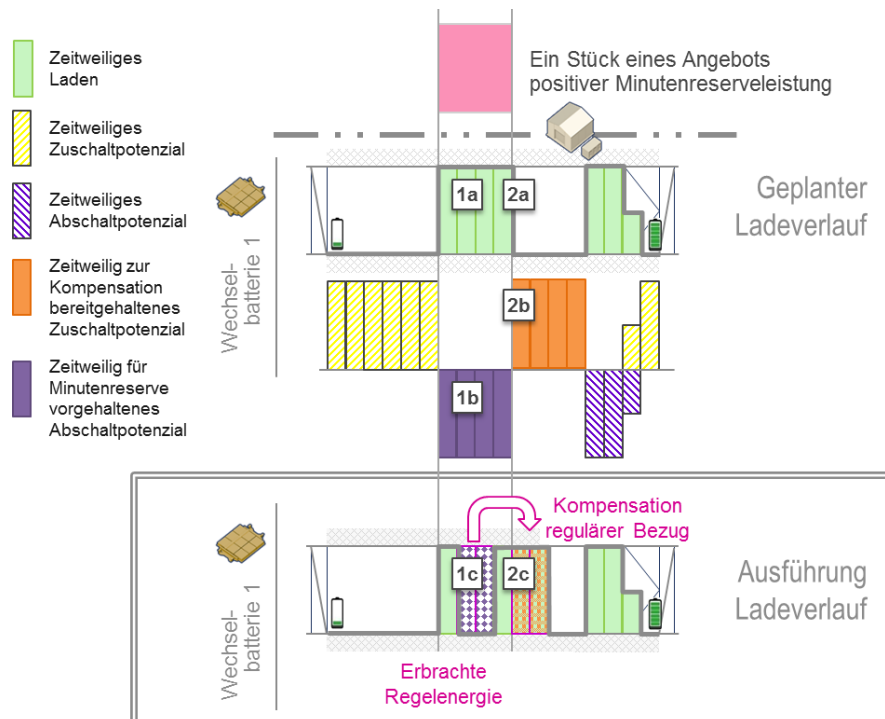
<sup>1</sup> Universität Oldenburg, Department für Informatik,  
{serge.runge@efzn.de},  
{norman.ihle@uni-oldenburg.de}

<sup>2</sup> cyberGRID GmbH, Inkustrasse 16, 3400 Klosterneuburg, [cg@cyber-grid.com](mailto:cg@cyber-grid.com)

<sup>3</sup> Vattenfall Europe Information Services GmbH, Hamburg, [karlheinz.goedderz@vattenfall.de](mailto:karlheinz.goedderz@vattenfall.de)

Eine Besonderheit der daran anknüpfenden Subaggregationsaufgabe liegt in den zeitlichen Verfügbarkeitsrestriktionen der umlaufenden Batteriesysteme und den Restriktionen auf die Speicherstände beim Tausch einer Wechsel-batterie an der Ladestation.

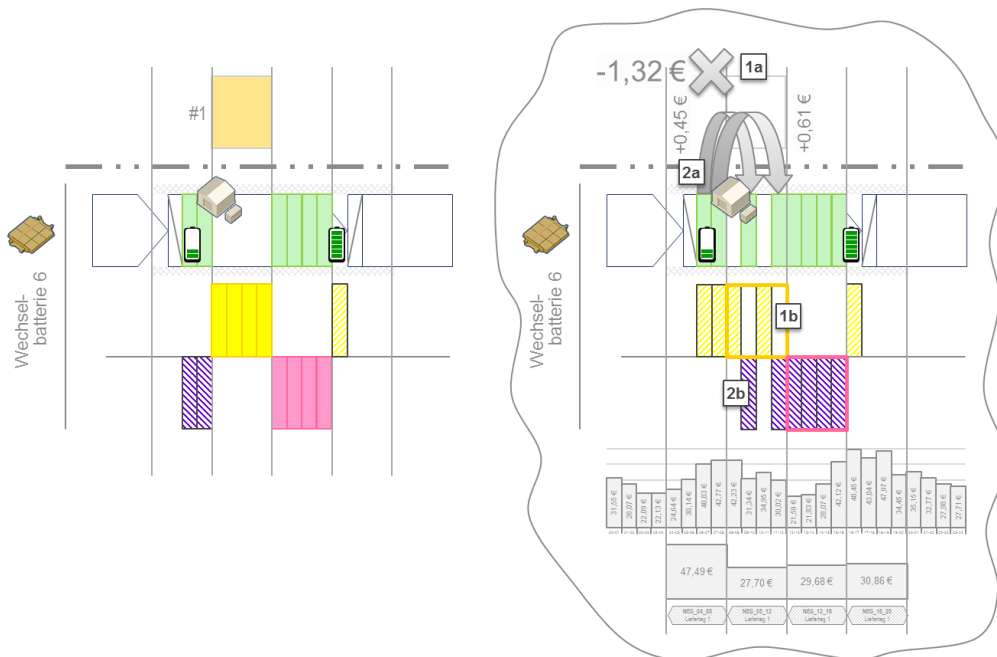
In Abbildung 1 wird erläutert, wie einem Abschaltpotenzial {1b} zum Angebots-/ Erbringungszweck ein Zuschaltpotenzial {2b} zum Kompensationszweck in einem Angebot positiver Regelleistung entgegengestellt wird. Im dargestellten Beispiel geht dieses Angebot komplett auf eine Wechselbatterie zurück, dessen Ladeverlauf flexibel festgelegt worden ist. Während eine Wechselbatterie in der betreffenden Produktperiode plangemäß {1a} geladen wird, kommt es bei der Ausführung des Ladeverlaufs zu einem Abruf von positiver Regelleistung. Dazu wird das reservierte Abschaltpotenzial {1b} ausgenutzt und das Laden der Wechselbatterie entgegen des geplanten Ladeverlaufs {1c} unterbrochen. Nachdem der Abruf beendet wurde, muss die aus der Unterbrechung herrührende Menge elektrischer Energie nachträglich geladen {2c} werden. Dazu wird das zu Kompensationszwecken reservierte Zuschaltpotenzial {2b} ausgenutzt und entgegen des geplanten Ladeverlaufs {2a} das Laden wieder aufgenommen.



**Abbildung 1: Flexibilität bei der Ausführung geplanter Ladeprozesse.**

Bei erstmaliger Festlegung des Ladeverlaufs kann zwar darauf abgezielt werden, die Leistungspreiserlöse für Minutenreserveangebote zu maximieren. Bei wechselnden Marktlagen muss dies jedoch nicht zwingend das bestmögliche energiewirtschaftliche Gesamtergebnis darstellen. Es ist also zwischen den Erlösen für das Angebot von Minutenreserve und den Kosten des Strombezugs abzuwägen. Wie in Abbildung 2 dargestellt, wird daher überprüft, ob gegenüber dem vorliegenden Planungsstand vom beabsichtigten Gebrauch von Zuschalt-/Abschaltpotenzial eines oder mehrerer Stücke von Minutenreserveangeboten abgesehen werden kann. Bei einer betrachteten Angebotszerlegung (Reservierung {1a} zum Angebotszweck würde aufgelöst) kann die dann ungebundene Festlegung von Ladeleistung für einen nächsten Planungsstand umverteilt werden, was zu veränderten Potenzialwerten {2b} führt. Eine Verbesserung des Gesamtergebnisses tritt ein, falls die Vergünstigung des Strombezugs {2a} im Ganzen die Erlösminderung {1a} überwiegt (im dargestellten Beispiel trifft dies nicht zu).

Es wäre möglich, dass sich nach einer etwaigen Umverteilung der Ladeleistung wieder Zuschalt-/Abschaltpotenzial ausprägt, welches aufs Neue für Angebote von Minutenreserve in Gebrauch genommen werden kann.



**Abbildung 2: Zerlegung eines Stücks eines Angebots negativer Regelleistung.**

Die Einsatzplanung für die Wechselbatterien in einem Containerterminalbetrieb wirft gegenüber dem Management von Transportsystemen oder eines Kraftwerksverbunds zusätzliche Anforderungen auf. Die integrierte Planungsproblemstellung weist eine hohe Entscheidungskomplexität auf und ist mit rein mathematischen Optimierungsmodellen (nachweislich mit einem OPL-Modell) nicht in angemessener Zeit zu lösen. Es kann jedoch durch ein optimierendes Konstruktions-/Dekonstruktionsverfahren äußerst zufriedenstellend gelöst werden. Für eine Zerlegung beabsichtigter Minutenreserveangebote und Umlage einer Festlegung von Ladeleistung wird ein Dependenzgraph gebildet, in welchem die Voraussetzungen der jeweiligen Umverteilungsmöglichkeiten und der Einfluss auf das Gesamtergebnis verzeichnet sind. Darin werden dann Teilgraphen gesucht, die eine gemeinsame ergebnisverbessernde Angebotszerlegung anzeigen.

Das Verfahren wurde am Beispiel eines deutschen Containerterminals getestet. In einem Ganzjahresvergleich für 2013 ist das Gesamtergebnis (d.h. die Nettostrombezugskosten) nach der kombinierten Optimierung um 28 % besser als das Gesamtergebnis für die aus dem jetzigen Stand der Automatisierung resultierenden Ladeverläufe.