
SYNERGIEPOTENZIALE STATIONÄRER UND DYNAMISCHER LADESYSTEME FÜR DEN SCHWERVERKEHR AUF FERNSTRASSEN

Mit dem Masterplan Ladeinfrastruktur II hat die Bundesregierung eine umfassende Strategie zur Reduktion verkehrsbedingter CO₂-Emissionen entwickelt, die den Ausbau der Ladeinfrastrukturen beschleunigen und somit zeitnah einen weitgehend emissionsfreien Straßengüterverkehr ermöglichen soll. Der Ausbau stellt angesichts der limitierten Kapazitäten des Stromnetzes eine signifikante Herausforderung dar, insbesondere im Kontext der Planung

stationärer Ladesysteme sowie der Dimensionierung batterieelektrischer Fahrzeuge und vor dem Hintergrund, dass diese Problematik eng mit den begrenzten Verfügbarkeiten von Parkflächen verknüpft ist.

Das Laden großer Energiespeicher erfordert bei höheren und örtlich zentrierten Ladekapazitäten einen verstärkten lokalen Netzausbau. Erhebliche Potenziale für eine nachhaltige Transformation des Güterverkehrs können erschlossen werden, wenn LKW ihre Energiespeicher während der Fahrt aufladen und dadurch die Batteriekapazität verringert wird. Diese Potenziale sind jedoch nur bei einem resilienten und an die Anforderungen der Transportbranche angepassten Stromnetz vollständig realisierbar.

Grundprinzip des dynamischen Ladens

Das Prinzip des dynamischen Ladens beruht auf der abschnittsweisen Energieversorgung elektrisch angetriebener Lkw an einer Fahrleitung über dem rechten Fahrstreifen einer Fernstraße. Die Fahrzeuge sind mit einem Energiespeicher und einem Stromabnehmer ausgestattet, der es ermöglicht, elektrische Energie von der Fahrleitung zum elektrischen Antriebssystem des Fahrzeugs zu übertragen.

Technikfolgeabschätzung und Konzepte für eine zukünftige Netzintegration

Die Kapazitäten des Stromnetzes entlang von Fernstraßen sind stark durch die Pkw-Elektromobilität und Industrieparks beansprucht. Die Integration von Ladeinfrastrukturen für LKW mit den notwendigen Netzkapazitäten befindet sich noch in der Anfangsphase. Da vergleichbare Großverbraucher in unmittelbarer Nähe von Autobahnen, etwa Industrieparks, bislang fehlen, sind die Ladekapazitäten dort noch gering. Häufig sind sie dort vorhanden, wo Rastplätze nur wenige Stellplätze bieten. Lkw stellen einen in der Stromnetzplanung bisher nicht berücksichtigten Verbraucher dar. Um einen Ausbau der stationären Ladeinfrastrukturen für den Schwerverkehr kurz-

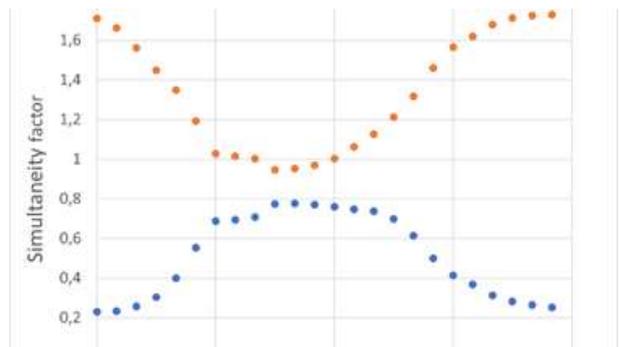
fristig zu ermöglichen und die erforderliche Spitzenlast zu bedienen, sind an Raststätten große Energiespeicher zu platzieren. Dies erhöht die Kosten erheblich. Zur Erreichung der Klimaschutzziele sind Stromnetze und Verkehrskorridore systematisch zu analysieren und Synergiepotenziale gezielt zu evaluieren.



Streckenabschnitt mit Korridor für Ladestationen aus der Region bei Langen (Hessen)

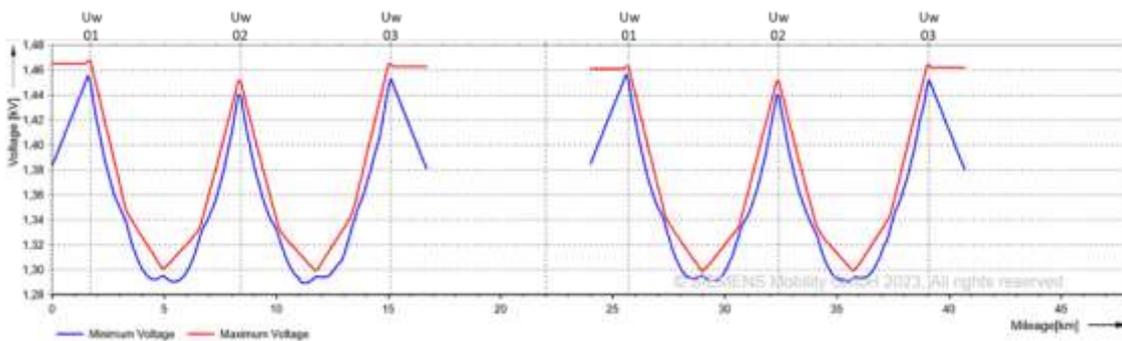
Eine Simulation zur Integration dynamischer Ladestysteme zeigt,

dass bei einem Elektrifizierungsgrad von 70 Prozent eines 100 km Fernstraßenabschnitts und einer durchschnittlichen Zeitlücke der elektrischen Lkw von 60 Sekunden unter der Bedingung, dass die Batterien der elektrischen Lkw vom Oberleitungssystem ausreichend Leistung für den nächsten elektrifizierten Streckenabschnitt aufnehmen, eine Einspeisung von vier Megavoltampere |



Dynamisches Laden (blau im Vergleich zu stationärem Laden (orange) über den gesamten Tag

Bei der Netzdimensionierung ist neben dem absoluten Wert des Gleichzeitigkeitsfaktors die Kombination verschiedener Verbraucher und der resultierende effektive Leistungsbeitrag entscheidend. Aus der Kombination von stationärem und dynamischem Laden ergeben sich erhebliche Potenziale, die eine optimale Netzdimensionierung begünstigen. Die Gleichzeitigkeitsfaktoren des stationären Ladens, das vorwiegend nachts erfolgt, und des dynamischen Ladens, das tagsüber stattfindet, fördern eine effiziente Auslastung der Netzverknüpfungspunkte, da das Verbrauchsverhalten zeitlich gegenläufig ist. Der Gleichzeitigkeitsfaktor >1 beim stationären Laden entsteht durch fehlende Parkplatzkapazitäten.



Spannungsprofil bei 70% Elektrifizierungsgrad der Strecke mit 3 Unterwerken pro elektrifiziertem abschnitt

MVA alle 6,7 km erforderlich ist. Die notwendigen drei Unterwerke | Uw speisen die Oberleitung dabei in beide Fahrrichtungen. Bei Optimierung der gegebenen Bedingungen ist selbst bei einem Elektrifizierungsgrad von 50 Prozent und zwei Unterwerken die gegebene Verkehrsaufgabe erfüllt (Einspeisung weiterhin 4 MVA).

Fazit

Die positiven Effekte einer Elektrifizierung des Schwerverkehrs werden nur mit ausreichenden Netzanschlusskapazitäten erzielt

und die Integration erfordert eine interdisziplinäre Betrachtung. So sind sozioökonomische Prozesse, wie das ungeplante Blockieren einer Ladesäule, aber auch die geplante Zentralisierung von Netzanschlusskapazitäten an strategisch sinnvollen Standorten zu berücksichtigen. Die begrenzten Flächenpotenziale für Stellplätze an Ladepunkten entlang von Fernstraßen stellen eine zentrale Herausforderung dar. Eine vielversprechende und effiziente Lösung

bietet die Implementierung dynamischer Ladesysteme, da diese keinen zusätzlichen Raumbedarf erfordern.

Die Planbarkeit des Gleichzeitigkeitsfaktors ist für eine Ressourceneffiziente Netzplanung von hoher Bedeutung. Zur Bestimmung für dynamisches Laden werden die benötigte Leistungsaufnahme je Lkw und die Verkehrsbelastung je Zeiteinheit herangezogen. Hingegen kann beim stationären Laden zwar davon ausgegangen werden, dass nicht immer alle Ladesäulen gleichzeitig genutzt werden, dennoch sind Rückhaltekapazitäten zu bilden.

Dynamisches Laden bietet durch eine la-geoptimierte Auswahl des Netzanschlusspunktes die Möglichkeit, den Anschluss an das Stromnetz deutlich flexibler zu gestalten. Zudem werden auftretende Leistungsspitzen sowie fehlende Netzkapazitäten kompensiert und die Ladeleistung lokal und temporal verteilt. Die Einspeisung in einen Versorgungsabschnitt sollte dort erfolgen, wo Netzinfrastrukturen leicht zugänglich und einfach zu erschließen sind. Die Ladeinfrastruktur kann so kostengünstiger in das bestehende Stromnetz integriert werden. Die Kombination aus stationärem und dynamischem Laden wird die Effizienz der Ladeinfrastruktur für den Schwerverkehr erheblich steigern und zur Entlastung stationärer Ladesysteme beitragen.



Prof. Dr.-Ing. Danny Wauri

Professur für Nachhaltigen Schwerlastverkehr
Technische Hochschule Deggendorf



Christian Hein

Projektmanager Forschung und Entwicklung
e-netz Südhessen AG