

Forschungsprojekt ELISA

Synergieeffekte von Ladesystemen für den Schwerverkehr auf Fernstraßen

Die von schweren Nutzfahrzeugen verursachten hohen und kontinuierlich steigenden Treibhausgasemissionen erfordern Strategien, die zeitnah einen weitgehend emissionsfreien und somit klimaverträglichen Straßengüterverkehr ermöglichen. Ein Ansatz ist die Verbreitung von Elektrofahrzeugen im Schwerlastverkehr, der jedoch Herausforderungen birgt. Eine der größten Herausforderungen ist die Anpassung der Ladeinfrastrukturen an die steigende Nachfrage bei aktuell unzureichenden Netzkapazitäten entlang von Fernstraßen, insbesondere hinsichtlich der Planung stationärer Ladesysteme und der Auslegung batterieelektrischer Fahrzeuge.



Bildquelle: eigene Darstellung



Christian R. Hein, M.Sc., Projektmanager, e-netz Süd Hessen AG, Doktorand h-da Promotionszentrum -Nachhaltigkeitswissenschaften, Darmstadt

Dr. Danny Wauri, Systemingenieur für Elektromobilität, Siemens Mobility GmbH, Erlangen

Die Bundesregierung hat mit dem Masterplan Ladeinfrastruktur II eine umfassende Strategie zur Reduktion verkehrsbedingter CO₂-Emissionen entwickelt, die den Ausbau der Ladeinfrastrukturen beschleunigen soll. Das Laden großer Energiespeicher erfordert bei höheren und örtlich zentrierten Ladekapazitäten einen verstärkten lokalen Netzausbau. Ein Vorteil ist, wenn Lkw ihre Energiespeicher während der Fahrt laden können, so dass Batteriekapazitäten verkleinert werden können.

Durch dynamische Ladesysteme werden elektrisch angetriebene Lkw direkt während der Fahrt angetrie-

ben und gleichzeitig mitgeführte Batterieeinheiten geladen. In Kombination mit stationären Ladesystemen ist es möglich, auftretende Leistungsspitzen sowie fehlende Netzkapazitäten zu kompensieren und die Ladeleistung lokal und temporal zu verteilen. Dies wird zur Entlastung stationärer Ladesysteme beitragen.

Technikfolgeabschätzung im Fallbeispiel

Für die meisten Volkswirtschaften ist der Straßengüterverkehr unverzichtbar, allerdings wird ihm ein Großteil

der Treibhausgasemissionen und anderer Schadstoffe zugerechnet. Aktuell wird von einem weiteren kontinuierlichen Wachstum der Straßengüterverkehrsleistung ausgegangen. Dies muss vor allem unter dem Aspekt des erforderlichen Ausbaus von Ladeinfrastrukturen auf Tank- und Rastanlagen entlang von Fernstraßen berücksichtigt werden.

Zur Untersuchung von Synergiepotenzialen von dynamischen und stationären Ladesystemen für den Schwerverkehr eignet sich eine explorative Szenariomethodik. Realistische Netzintegrationszenarien werden simuliert, indem technische Daten dynamischer Ladesysteme in Kombination mit stationären Ladesystemen und Netzdaten untersucht werden.

Das Prinzip des dynamischen Ladens beruht auf der Energieversorgung elektrisch angetriebener Lkw, etwa an einer Fahrleitung über dem rechten Fahrstreifen einer Fernstraße. Die zu errichtende Oberleitungsanlage kann ohne einen wesentlichen Eingriff in die bestehende Straßeninfrastruktur integriert werden.

Die rein elektrischen (oder hybriden) Fahrzeuge sind neben einem Elektromotor (und Verbrennungsmotor) mit einem Energiespeicher und einem Stromabnehmer ausgestattet. Dieser ermöglicht es, elektrische Energie von der Oberleitungsanlage zum elektrischen Antriebssystem des Fahrzeugs zu übertragen. Die Lkw können bei jeder Geschwindigkeit an die Fahrleitung an- und abbügeln, was die übliche Fahrflexibilität gewährleistet. Überholvorgänge sind somit auch problemlos möglich.

Die Kapazitäten im Mittelspannungsnetz entlang von Fernstraßen sind derzeit stark durch die Pkw-Elektromobilität sowie durch Industrieparks beansprucht. Die Integration von Ladeinfrastrukturen für schwere Nutzfahrzeuge mit den dafür notwendigen Netzkapazitäten befindet sich noch in der Anfangsphase.

Da keine vergleichbaren historischen Verbraucher, wie exemplarisch größere Industrieparks oder Wohngebiete existieren, sind Ladekapazitäten entlang von Fernstraßen noch gering. Häufig sind sie dort vorhanden, wo Rastplätze nur wenige Stellplätze bieten. Zudem sind ver-

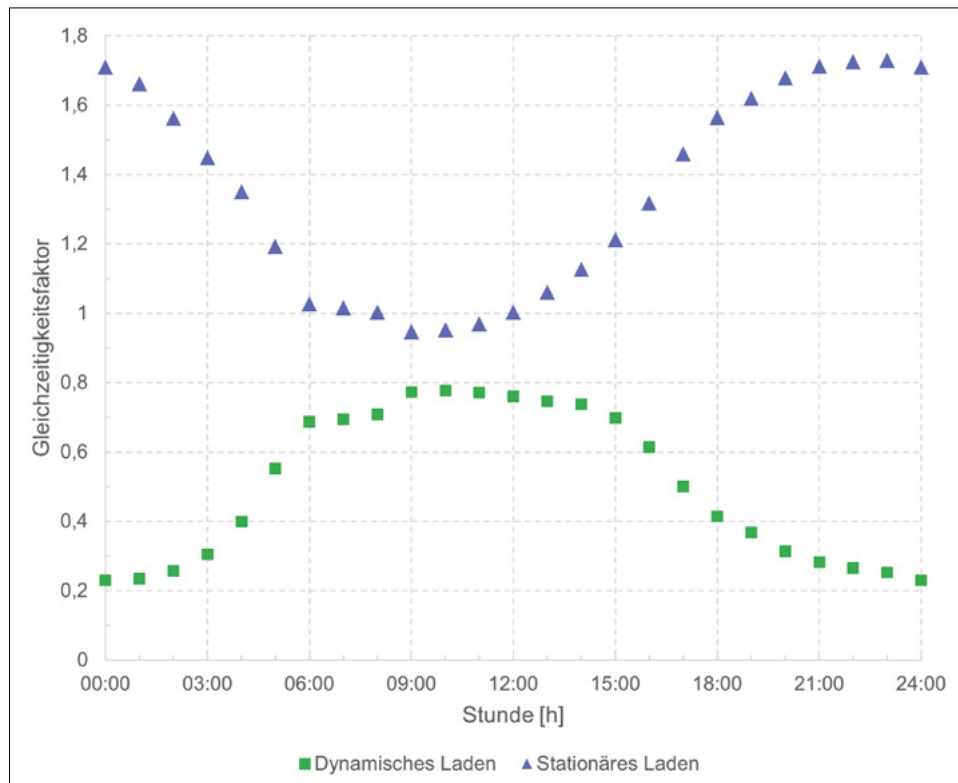


Abbildung 1. Netzkapazitäten entlang des Reallabors

Quelle: eigene Darstellung

fügbare Netzkapazitäten bereits stark durch die Wärmewende, die Elektrifizierung im Industriesektor und stationäre Ladesysteme für den Individualverkehr beansprucht.

Lkw stellen dabei einen noch offenen und in der Netzplanung nicht berücksichtigten Verbraucher dar. Um einen schnellen Ausbau der Ladeinfrastrukturen für den Schwerverkehr zu ermöglichen, ist es notwendig, an allen Raststätten große Energiespeicher zu platzieren, um die erforderliche Spitzenlast zu bedienen. Dies wird die Kosten der stationären Technologie erheblich erhöhen.

Zudem ist im Rahmen von Netzausbauten eine längere Bauzeit von rund zwei Jahren etwa für eine Kabelverstärkung anzunehmen, wobei die tatsächliche Bearbeitungszeit durch Faktoren wie Genehmigungen, behördliche Prozesse und technische Komplexität abweichen kann [1]. Somit stellt auch der Zeitfaktor eine limitierende Größe für die Elektrifizierung des Schwerlastverkehrs dar.

Es sind systematisch die verschiedenen Stromnetz- und Verkehrskor-

ridore zu analysieren und bestehende Infrastrukturkapazitäten bestmöglich zu nutzen (Abbildung 1). Die Betrachtung ist dabei integrativ und interdisziplinär vorzunehmen und sollte nicht nur auf reinen technischen Kennzahlen beruhen. Sie soll sowohl sozioökonomische als auch regionale sozioökologische Faktoren einbeziehen.

Konzepte für zukünftige Netzintegration

Die ressourceneffiziente Integration von Ladetechnologien in das bestehende Energieversorgungssystem erfordert die sorgfältige Abwägung und Einbeziehung zahlreicher ökonomischer Faktoren sowie gesellschaftlicher Rahmenbedingungen. Hierbei ist zu beachten, dass technische Komponenten bei deren Integration in bestehende Subsysteme den aktuellen Anforderungen entsprechen.

Mit der Annahme eines Elektrifizierungsgrades von 70 % eines 100 km langen Fernstraßenabschnitts sowie unter den gegebenen Bedingungen, d. h. dem Erreichen einer

durchschnittlichen Zeitlücke von 60 s, dem Erreichen des Oberleitungstroms unter seiner maximalen Kapazität, dem Erreichen der maximalen Strombelastung der Unterwerke und unter der Aufrechterhaltung der Mindestspannung am Oberleitungssystem sowie der Prämisse, dass die Batterie der elektrischen Lkw vom Oberleitungssystem ausreichend Leistung für den nächsten elektrifizierten Streckenabschnitt aufnimmt, ermittelt die Simulation, dass eine Einspeisung von 4 MVA alle 6,7 km von Nöten ist. Die dafür erforderlichen drei Unterwerke speisen die Fahrleitung dabei in beide Fahrtrichtungen (Abbildung 2).

In einem weiteren Schritt bildet die Simulation das Optimum aus gegebene-

nen Bedingungen und Mindestelektrifizierungsgrad der Fernstraße. Es zeigt sich, dass selbst bei einem Elektrifizierungsgrad von 50 % und zwei Unterwerken die gegebene Verkehrsaufgabe (Zeitlücke von 60 s) erfüllt werden kann (Einspeisung weiterhin 4 MVA). Die gemessene Spannung am Stromabnehmer der elektrisch angetriebenen Lkw mit Stromabnehmern schwankt erheblich. Je größer der Abstand der Unterwerke voneinander ist, desto größer ist der Spannungsabfall entlang der Fahrleitung aufgrund von Leitungsimpedanzen.

Erweitert wird die Betrachtung durch die Analyse der Planbarkeit des Gleichzeitigkeitsfaktors, als zentrale Kennzahl der Elektromobilität. Im Gegensatz zur Analyse des Gleichzei-

tigkeitsfaktors von stationären Ladesystemen bietet das Konzept des dynamischen Ladens die Möglichkeit, eine zusätzliche, signifikante Gesetzmäßigkeit aufgrund der zentralisierten Ladeinfrastruktur zu definieren. Der Gleichzeitigkeitsfaktor leitet sich aus regionalen Charakteristiken oder potenziellen Hochlaufphasen ab, wie es beim Individualverkehr der Fall ist. Überdies kann der Gleichzeitigkeitsfaktor auf einer fundierten Datenbasis anhand der aktuellen Verkehrsbelastung des Schwerverkehrs quantifiziert und qualifiziert werden. In Deutschland liegen historische Langzeitdaten zu diesen Verkehrsbelastungen vor (Abbildung 3) [2].

Erhebliche Synergiepotenziale

Historisch bedingt existieren nur wenige geeignete Netzverknüpfungspunkte entlang von Fernstraßen. Bei der Netzdimensionierung ist neben dem einzelnen absoluten Wert des Gleichzeitigkeitsfaktors vor allem die Kombination verschiedener Verbraucher und der hieraus resultierende effektive Leistungsbeitrag entscheidend. Aus der Kombination von stationärem mit dynamischem Laden ergeben sich erhebliche Synergiepotenziale, die eine optimale Netzdimensionierung begünstigen (Abbildung 3).

Der hohe Auslastungs- und Planungsgrad, der sich aus dieser Kombination ergibt, spielt bei einer optimalen Netzdimensionierung eine tragende Rolle. Die Gleichzeitigkeitsfaktoren beim dynamischen und stationären Laden harmonisieren mit einer effizienten Auslastung einzelner Netzverknüpfungspunkte. Der höhere Gleichzeitigkeitsfaktor > 1 entsteht durch die fehlenden Parkplatzkapazitäten, wie auch in der Studie der FOM aufgezeigt [3]. Die systematische Harmonisierung von dynamischem und stationärem Laden bleibt jedoch hiervon unberührt.

Fazit und Ausblick

Die Integration neuer Technologien bringt stets Ambivalenzen mit sich. Es gilt diesen entgegenzuwirken. Die positiven Effekte einer weitreichenden Elektrifizierung des Schwerverkehrs und tangierender Infrastrukturen werden nur im Falle

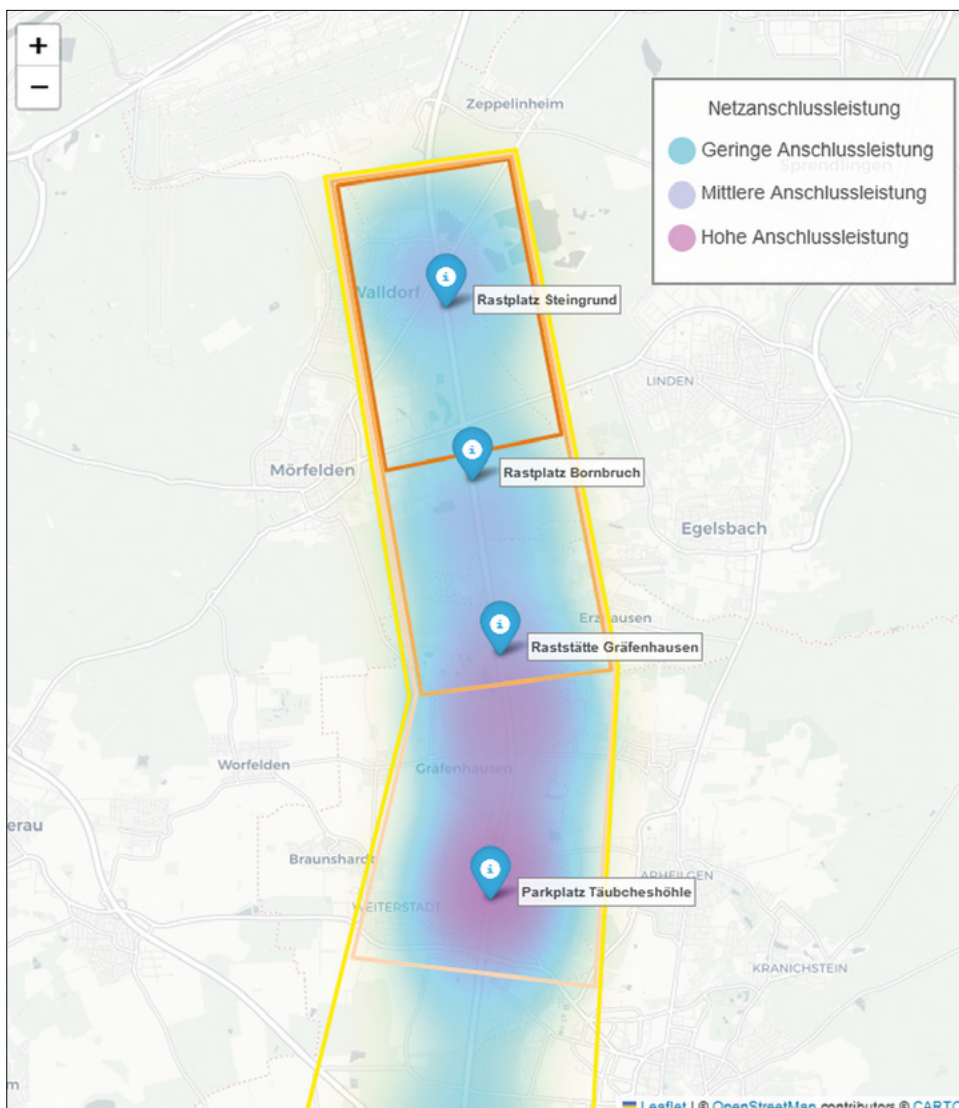


Abbildung 2. Simulationsergebnisse der Netzstudie

Quelle: eigene Darstellung

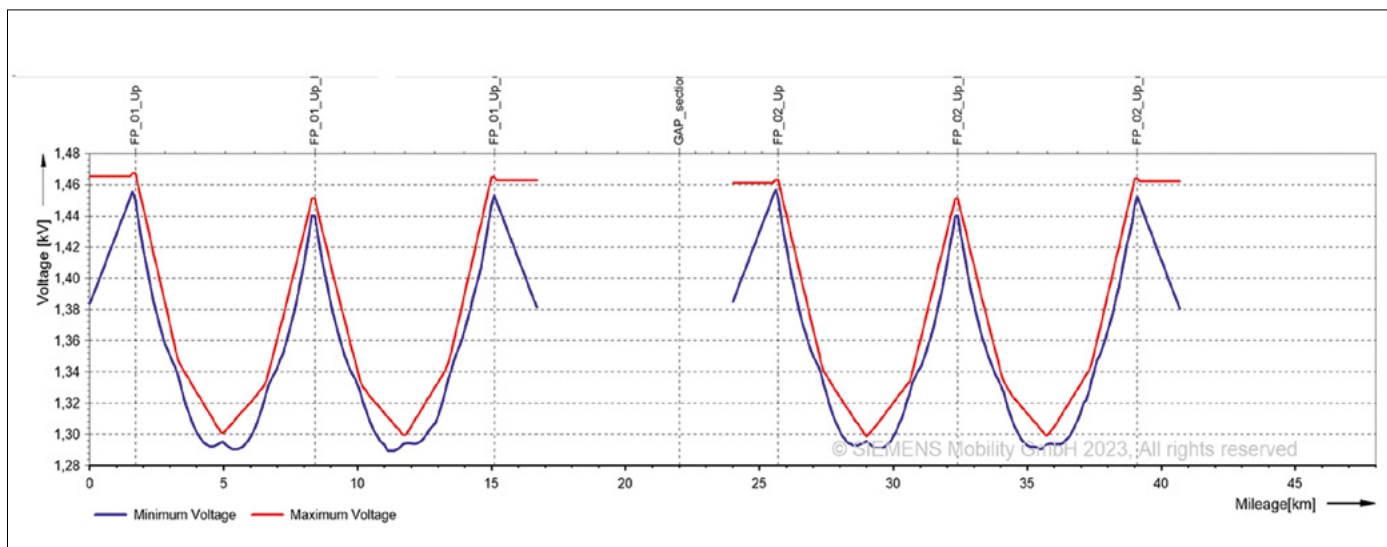


Abbildung 3. Gleichzeitigkeitsfaktor beim dynamischen und stationären Laden

Quelle: eigene Darstellung

ausreichender Netzanschlusskapazitäten entlang von Fernstraßen erzielt. Aktuell stellt dies einen zentralen limitierenden Faktor dar und steht einer schnellen Integration, sowohl von stationären Ladesäulen als auch von dynamischen Ladesystemen, entgegen.

Die Integration einer Technologie in den Verkehrssektor erfordert stets eine interdisziplinäre Betrachtung. So sind sozioökonomische Prozesse, wie das ungeplante Blockieren einer Ladesäule durch einen Lkw, aber auch die geplante Zentralisierung von Netzanschlusskapazitäten entlang der Fernstraße an strategisch sinnvollen Standorten zu berücksichtigen. Ein Synergieszenario aus stationärem und dynamischem Laden wird die Effizienz im Bereich der Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge, insbesondere für den Schwerverkehr, erheblich steigern.

Von besonderer Wichtigkeit bei der Netzplanung ist eine hohe Planbarkeit des Gleichzeitigkeitsfaktors. Um diesen beim dynamischen Laden valide zu bestimmen, stehen die benötigte Leistungsaufnahme je Lkw und die Verkehrsbelastung je Zeit und Fernstraßenabschnitt zur Verfügung. Beim stationären Laden gestaltet sich dies etwas schwieriger. Zwar kann davon ausgegangen werden, dass nicht immer alle Ladesäulen gleichzeitig genutzt werden, dennoch sind Rückhaltekapazitäten für einen reibungslosen Prozess zu bilden. Eine Leistungsreduzierung

von Ladeparks entlang von Fernstraßen ist im Netzplanungsprozess nicht zu berücksichtigen.

Die geringen Flächenpotenziale für Stellplätze an Ladepunkten entlang von Fernstraßen stellen eine weitere Herausforderung dar. In dicht besiedelten Gebieten ist häufig nur begrenzter Platz verfügbar. Die Nutzung dynamischer Ladesysteme stellt eine effiziente Lösung dar, da sie keinen zusätzlichen Raum beansprucht.

Dynamisches Laden bietet die Möglichkeit, den Anschluss an das Mittelspannungsnetz deutlich flexibler zu gestalten. Erreicht wird dies durch eine lageoptimierte Auswahl des Netzanschlusspunktes. Die Einspeisung in einen Versorgungsabschnitt sollte dort erfolgen, wo die Netzinfrastrukturen leicht zugänglich sind und sich einfacher erschließen lassen. Die Ladeinfrastruktur kann dadurch effizienter und kostengünstiger in das bestehende Stromnetz integriert werden.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren. Die Projektpartner danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz für die Zuwendungen und der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH für die freundliche Unterstützung.

Literaturhinweise:

- [1] enviaM-Gruppe: Netzausbau [online] Netzausbau - ohne Aus-

bau der Stromnetze keine Energiewende (enviam-gruppe.de) [09.08.2024]

- [2] Plötz, P., Hacker, F., Jöhrens, J., Speth, D., Gnann, T., Scherrer, A., Burghard U. (2021): Infrastruktur für Elektro-Lkw im Fernverkehr: Hochleistungsschnelllader und Oberleitung im Vergleich – ein Diskussionspapier. Karlsruhe, Berlin, Heidelberg: Fraunhofer ISI, Öko-Institut, ifeu, 2021.

- [3] id (2018): Entwicklung eines Konzepts zur Deckung des streckenbezogenen LKW-Parkbedarfs in Süddeutschland mittels GAMS, S. 18

christian.hein@e-netz-suedhessen.de

danny.wauri@siemens.com

www.entega.ag/elisa

www.e-netz-suedhessen.de