



Skalierbare, DC-gekoppelte E-Fahrzeug-Ladestationen für das stabile und nachhaltige Stromnetz von Morgen

Projekt SKALE

Die Zukunft der Mobilität ist elektrisch, um diesen Wandel erfolgreich zu meistern, bedarf es einer innovativen Ladeinfrastruktur. Eine Lösung für die Herausforderung großer Lastspitzen, die durch das gleichzeitige Laden vieler Elektroautos entstehen, liegt unter anderem in der intelligenten Vernetzung von Ladepunkten mit dezentralen erneuerbaren Energiequellen und stationären Speichern. Um den wachsenden Bedarf an Ladestationen zu decken, ist Skalierbarkeit entscheidend – dabei könnte die DC-Kopplung eine zentrale Rolle spielen.

Demonstratoranlage

Um obige technische Lösungen zu erproben und weiterzuentwickeln, wurde eine entsprechende Ladeinfrastruktur bei der Robert Bosch GmbH aufgebaut.



Abbildung 1: Demonstratoranlage in Schwieberdingen bei der Robert Bosch GmbH. Zu sehen sind die 12 DC-Ladepunkte und das Display zur Eingabe der Parkdauer. (Bild: Alexander Stein)

Das Ladesystem, eine Photovoltaik (PV) Anlage und ein stationärer Lithium-Ionen-Speicher sind dabei über ein DC-Energieverteilnetz mit einem Zentralwechselrichter verbunden. Wie schematisch in Abbildung 2 dargestellt. Weitere Fahrzeuge können AC-seitig geladen werden. Unternehmensparkplätze sind vorteilhafte Standorte für Lademanagement: Einerseits parken die Mitarbeitenden tagsüber, wenn die Sonne scheint und somit viel PV-Energie verfügbar ist. Andererseits sind die Parkdauern lange genug, um das Laden durch Verzögern an die PV-Verfügbarkeit anzupassen und dennoch problemlos den Energiebedarf der E-Fahrzeuge zu decken. Die Demonstratoranlage bei der Robert Bosch GmbH besteht aus 12 DC-Ladepunkten und 5 AC-Ladepunkten mit jeweils 5 kW Ladeleistung. Gespeist wird die Ladestation über einen PV-Carport (150 kWp). Ein stationärer Speicher mit einer Kapazität von 67 kWh sorgt dafür, dass PV-Energie zwischengespeichert werden kann.

Alle Komponenten sind über einen DC-Bus miteinander verbunden. Über ein eigens entwickeltes Display geben Nutzende zum Start des Ladevorgangs die geschätzte Parkdauer ein.

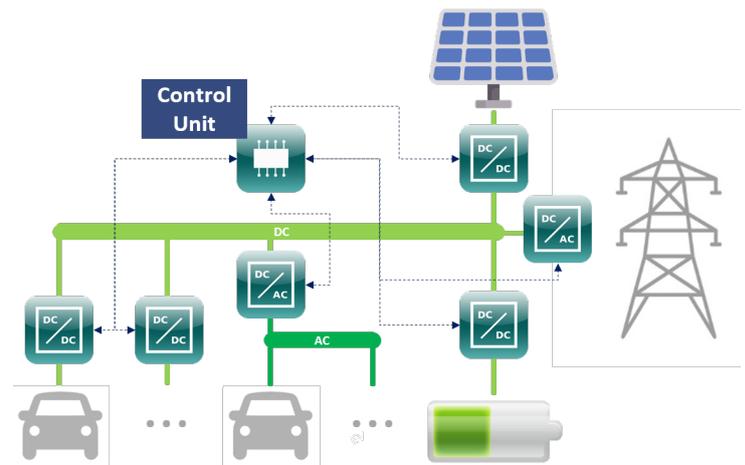


Abbildung 2: Skalierbare DC-gekoppelte Ladestation mit stationärem Batteriespeicher und Photovoltaikanlage. (Bild: Anna Starosta)

Optimierung Betriebsstrategie

Das zentrale Energiemanagementsystem (EMS) kann durch Zwischenspeichern von PV-Energie im stationären Speicher und durch das Verzögern von Ladevorgängen die Betriebskosten der Ladestation reduzieren. Die zu Grunde liegende Betriebsstrategie verwendet dazu Prognosen der zukünftigen PV-Erzeugung sowie des Energiebedarfs der erwarteten E-Fahrzeuge. Mit dem zusätzlichen Wissen über die Parkdauer bereits ladender E-Fahrzeuge, welche über das Display erfasst werden, kann die Last der Ladestation optimal zu den Zeiten geringer Strompreise und hoher PV-Verfügbarkeit verschoben werden. Außerdem kann so hinsichtlich einer optimalen Systemeffizienz und Batteriealterung geladen werden. Neben der Betriebsstrategie wird im Forschungsprojekt auch das Nutzer- und Fahrzeugverhalten auf die Lastverschiebung sowie die Gesamteffizienz ausgewertet.

DC-Kopplung

Beim Bau neuer Ladestationen ist der vorhandene Netzanschluss oft nicht ausreichend. Dieses Problem lässt sich durch ein lokales DC-Netz auf zwei Arten lösen: Entweder erfüllt nur der DCAC-Netzwechselrichter die Netzanschlussanforderungen, oder das DC-Netz wird direkt über einen Umrichter an das Mittelspannungsnetz angebunden. Weitere Vorteile der DC Kopplung sind eine erhöhte Effizienz der Komponenten sowie perspektivisch geringere Hardwarekosten.

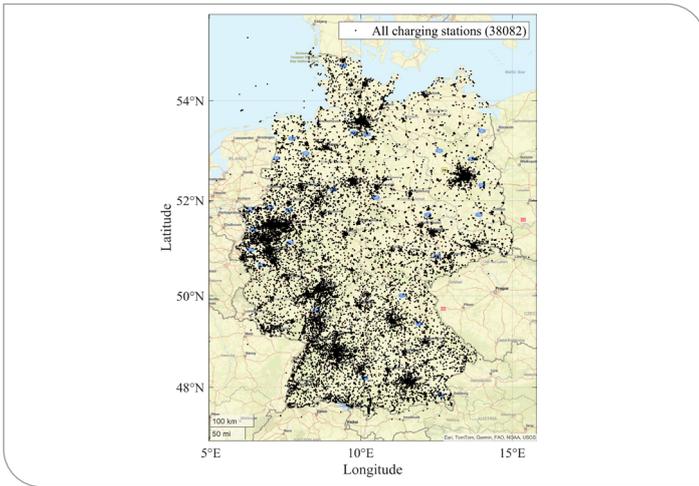


Abbildung 3: Deutschlandweite Verteilung der Standorte öffentlicher bis halb-öffentlicher Ladestationen. (Bild: Anna Starosta)

Im Fokus des Projektes liegt die Untersuchung der Stabilität des lokalen DC-Netzes. Dabei wird die Leistungselektronik modelliert und die Wechselwirkung der Komponenten analysiert. Zudem wird untersucht, wie lokale DC-Netze direkt an das Mittelspannungsnetz angebunden werden können. Dazu wird ein skaliertes Laborprototyp eines Solid-State-Transformers entwickelt, mit dem eine technische und wirtschaftliche Analyse durchgeführt werden kann, um Effizienz und Kosten zu bewerten.

Use-Case Analyse

Ende 2024 waren in ganz Deutschland über 38.000 öffentliche bis halb-öffentliche Ladestationen installiert (Abbildung 3). Dabei handelt es sich um verschiedenste Ladestationen mit AC- und DC-Ladepunkten mit unterschiedlicher Größe und Leistung. Unterschiede zeigen sich nicht nur bei den Ladestationen selbst, sondern auch ob in deren unmittelbarer Umgebung Park- oder Dachflächen für eventuelle PV-Carports oder -Dachanlagen verfügbar sind. Ladestationen bedeuten nicht nur ein Risiko erhöhter Lastspitzen – ihr Umfeld kann auch eine Chance für direkte Lastdeckung mit lokal erzeugter Energie bieten.

Um die Projektergebnisse auf weitere Anlagen übertragen zu können, wurde für die Ladestation ein Simulations- und Optimierungsmodell entwickelt, mit dem die optimale Auslegung hinsichtlich Wirtschaftlichkeit, Nachhaltigkeit, Effizienz und Systemverlässlichkeit ermittelt werden kann. Darüber hinaus wurden im Rahmen technischer und regulatorischer Voraussetzungen Use Cases abgeleitet, mit denen öffentliche bis halb-öffentliche Ladestationen mit obigen Zielfunktionen betrieben werden können. Unter mögliche Use Cases fallen zum Beispiel Eigenverbrauchserhöhung oder Netzdienstleistungen. Je nach Anzahl und Ladeleistung der Ladepunkte, Nutzerverhalten und verfügbarer Fläche für PV-Anlagen bietet sich dadurch ein breites Portfolio an Betriebsmöglichkeiten.

Das Projekt SKALE: Baustein für das stabile und nachhaltige Stromnetz von Morgen

Im Projekt SKALE hat das ETI auf einem Unternehmensparkplatz der Robert Bosch GmbH ein skalierbares Ladesystem mit Photovoltaikanlage, stationärem Lithium-Ionen Speicher und lokalem Gleichspannungsnetz entwickelt und aufgebaut. Geeignet ist die Ladeinfrastruktur für halb-öffentliche bis private Räume. Durch intelligentes Lademanagement und den Einsatz dezentraler erneuerbarer Energieerzeuger werden Lastspitzen verhindert und die Netzstabilität verbessert sowie die Wirtschaftlichkeit, Nachhaltigkeit und Effizienz erhöht. Darüber hinaus wurden innerhalb des regulatorischen Rahmens Use Cases abgeleitet, die die Anwendbarkeit des Projekts auf zukünftige Ladestationen einordnen.

Mit dem Projekt SKALE erreichte Ziele:

1. Use-Case Portfolio für die Dimensionierung und den Betrieb von Ladestationen
2. Optimierte Betriebsstrategie für u.a. höhere Wirtschaftlichkeit und Autarkie
3. Untersuchung der Vorteile von DC-Kopplung für eine erhöhte Effizienz

Haben Sie eine Projektidee im Bereich Elektromobilität und Interesse am Know-How aus dem Projekt SKALE? Dann melden Sie sich bei uns! Wir freuen uns über den Austausch und weitere Projekte.

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Elektrotechnisches Institut (ETI)

Anna Sina Starosta
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen
Telefon: +49 721 608-28380
E-Mail: anna.starosta@kit.edu
Web: www.batterietechnikum.kit.edu

Alexander Stein
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen
Telefon: +49 721 608-28282
E-Mail: alexander.stein@kit.edu
Web: www.batterietechnikum.kit.edu



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages