

Problem: Vor dem Hintergrund abnehmender Kraftwerksleistung aufgrund des Atomausstiegs und der Abschaltung alter Kohlekraftwerke und des zögerlichen Zubaus neuer Großkraftwerke wird das Energieversorgungssystem vor große Herausforderungen gestellt. Zudem ist eine Flexibilisierung des Versorgungssystems wegen der immer steiler verlaufenden Residuallastgradienten notwendig. Darüber hinaus stellt sich die Frage, wie in Zukunft Momentanreserve sowie Primär- und Sekundärregelleistung erbracht werden sollen, die bislang von Großkraftwerken bereitgestellt wurden.

Ziel: Ziel des Projektes ist die Entwicklung und Erprobung innovativer Ladegeräte und Ladealgorithmen für Elektrofahrzeuge, um damit einen Beitrag zur dynamischen Systemstabilität elektrischer Netze liefern zu können.

Lösungsweg: Im Kern der Arbeiten stehen Untersuchungen zur Einbindung automobiler Energiespeicher in die elektrische Energieversorgung zur Erbringung von dezentralen, standortabhängigen Systemdienstleistungen.

Des Weiteren wird die Nutzung der Fahrzeugspeicher zum Ausgleich von Erzeugung und Verbrauch in den Bilanzgrenzen der Kundenanlage – der sogenannten „Prosumerzelle“ – betrachtet. Hierzu ist eine kommunikative Verbindung des Hauptzählers am Hausanschluss mit dem Fahrzeug und ggf. mit den Erzeugern, wie Photovoltaik-Anlage (PV) oder Blockheizkraftwerk (BHKW), und weiteren steuerbaren Verbrauchern erforderlich.

Andere derzeit laufende und angestrebte Projekte nutzen die Speicher von Elektrofahrzeugen als reine Energiespeicher. In diesem Projekt wird die Nutzung der Fahrzeugbatterien als „Leistungsspeicher“ für die Bereitstellung von Momentanreserve, zur Primärregelung und weitergehende Systemdienstleistungen untersucht.

Aufgrund unterschiedlicher Topologien und lokaler Lastzustände ist für die Parametrisierung der dynamischen Reaktion der Laderegler auf Netzereignisse eine standortbezogene Optimierung der Parameter von Vorteil.

Als mobile Einheiten können Elektrofahrzeug während der netzgekoppelten Phase (Plugged-In) den aktuellen Zustand des lokalen Netzbereiches diagnostizieren und für Netzbetreiber wertvolle Daten erheben. Die erhobenen Daten werden in aggregierter Form als „Power Quality Map“ zur Verfügung gestellt. Im Kontext der Entwicklung hin zum „Smarter Grid“ kann auf diese Weise das Sensornetz für eine Netzüberwachung dichter geknüpft werden, um somit eine weiterhin hohe Versorgungsqualität zu gewährleisten.

Im Rahmen dieses Projektes werden die beschriebenen drei Funktionalitäten Systemdienstleistungen, Prosumerzellenoptimierung und Power Quality Map untersucht bzw. entwickelt, anhand von Laboraufbauten erprobt und in marktverfügbare Elektrofahrzeuge integriert.

Projektstand: Das Projekt ist in Bearbeitung und wurde um ein halbes Jahr, bis 30.06.2016, verlängert.

Projektergebnisse: Netzdienliches Ladeverfahren: Zur Analyse möglicher Szenarien und zur Auslegung eines intelligenten Lademanagements wird ein vereinfachtes Netzmodell (Abbildung 1) genutzt. Mit Hilfe des Modells können verschiedene Last- und Erzeugungssituationen in einem Niederspannungsausläufer dynamisch simuliert werden. Auf Basis der Simulationsergebnisse können die Auswirkungen des Ladens von Elektrofahrzeugen an verschiedenen Punkten im Netz genauer untersucht werden.

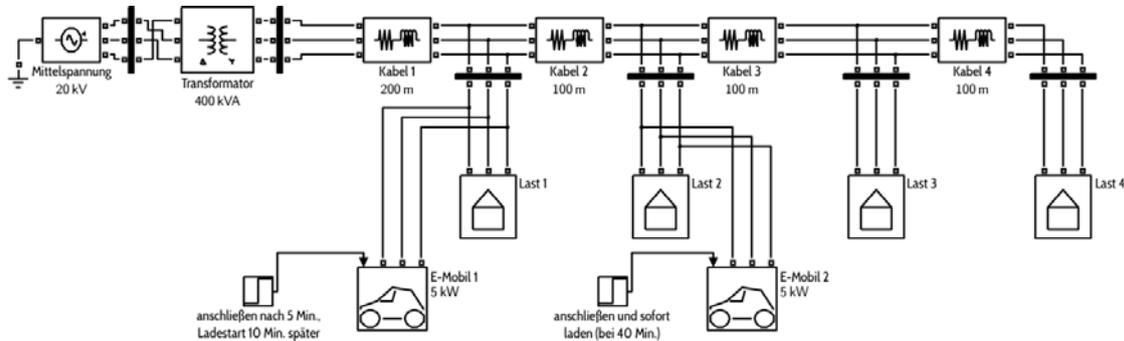


Abbildung 1: Einfaches Netzmodell zur Untersuchung verschiedener Szenarien in Bezug auf Last- und Erzeugungssituationen sowie Anschluss und Ladeverhalten von Elektrofahrzeugen in Matlab/Simulink

Eine Gegenüberstellung der Simulationsergebnisse für das Laden von zwei Elektrofahrzeugen entsprechend der Anordnung in Abbildung 1 ist in Abbildung 2 dargestellt. Für die erste Simulation (links) wurde von einer Ladung mit konstanter Leistung (Nennleistung) ausgegangen. Bei der zweiten Simulation (rechts) wurde für beide Fahrzeuge das neue, netzdienliche Ladeverfahren angenommen. Beim Vergleich der Spannungsverläufe ist zu erkennen, dass die Spannungseinbrüche mit dem netzdienlichen Ladeverfahren reduziert werden können.

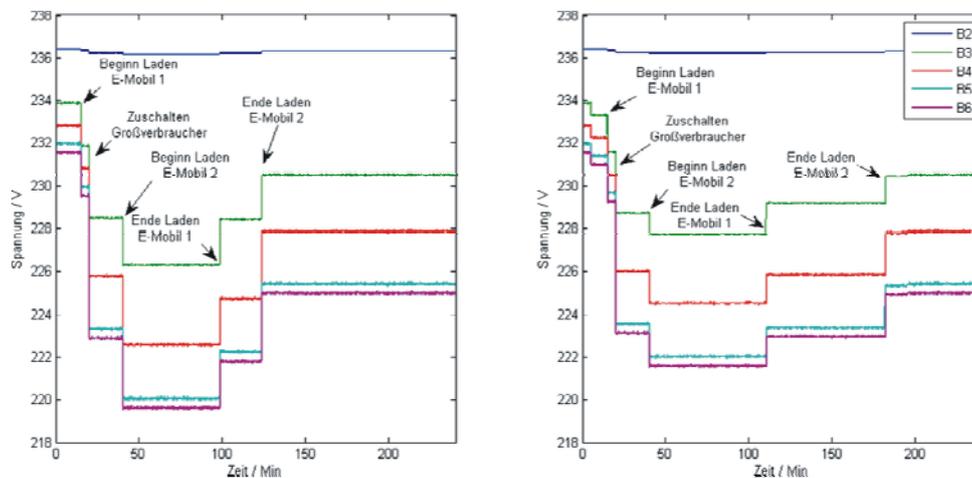
Projekt: Tanken im Smart Grid


Abbildung 2: Vergleich der Simulationsergebnisse des Ladeverhaltens ohne (links) und mit (rechts) netzdienlichem Ladeverfahren entsprechend Abbildung 1

Die Simulationsergebnisse (Abbildung 2) zeigen, dass sich die Spannungseinbrüche durch das netzdienliche Ladeverfahren reduzieren lassen. Dies geschieht auf Kosten der Ladedauer, was Abbildung 3 verdeutlicht. Wie sich feststellen lässt, steigt die Ladedauer für Fahrzeuge, die weiter hinten am Strang angeschlossen sind, deutlich stärker an als für Fahrzeuge, die weiter vorne angeschlossen sind. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass im einfachsten Fall beim netzdienlichen Laden auf eine feste Nennspannung (z.B. 230 V) geregelt wird. Das bedeutet, dass bei einer Abweichung von dieser Nennspannung die Ladeleistung angepasst wird, z. B. wird mit höherer Leistung, d.h. beschleunigt, geladen, wenn die lokal gemessene Spannung über dem Nennwert liegt. Da die Netzspannung aufgrund des Spannungsabfalls über der Netzleitung grundsätzlich ortsabhängig, d.h. lokal unterschiedlich ist, wird es bei Regelung auf eine feste Nennspannung immer zu örtlichen Ungleichbehandlungen von Fahrzeugen kommen, die sich mit dem netzdienlichen Ladeverfahren an der Netzstabilisierung beteiligen.

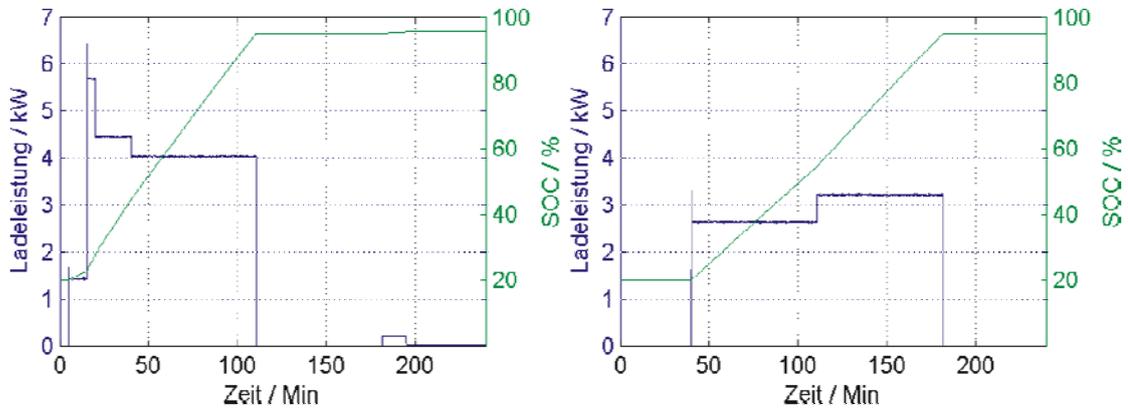


Abbildung 3: Vergleich der Simulationsergebnisse des Ladeverhaltens von Fahrzeug 1 (links) und Fahrzeug 2 (rechts) mit netzdienlichem Ladeverfahren entsprechend Abbildung 1

Um zu verhindern, dass Fahrzeuge, die weiter hinten an einem Netzausläufer laden, grundsätzlich durch eine länger Ladedauer benachteiligt werden, ist es sinnvoll, lokale Nennspannungen für das Ladeverfahren/die Regelung zu definieren. Dies kann über die Power-Quality Map, die ebenfalls im Projekt entwickelt wird, geschehen.

Die Regelung des Ladegeräts richtet sich nach dem Blockschaltbild in Abbildung 4. Die Ladeleistung wird abhängig von den Abweichungen von Frequenz und Spannung bezogen auf die vorgegebenen Nennwerte (f_0^* , U_0^*) gegenüber der Nennleistung P_0^* erhöht oder reduziert. Weiterhin besteht die Möglichkeit die Nennleistung über ΔP_0^* für einen Lastausgleich in der Prosumerzelle anzupassen.

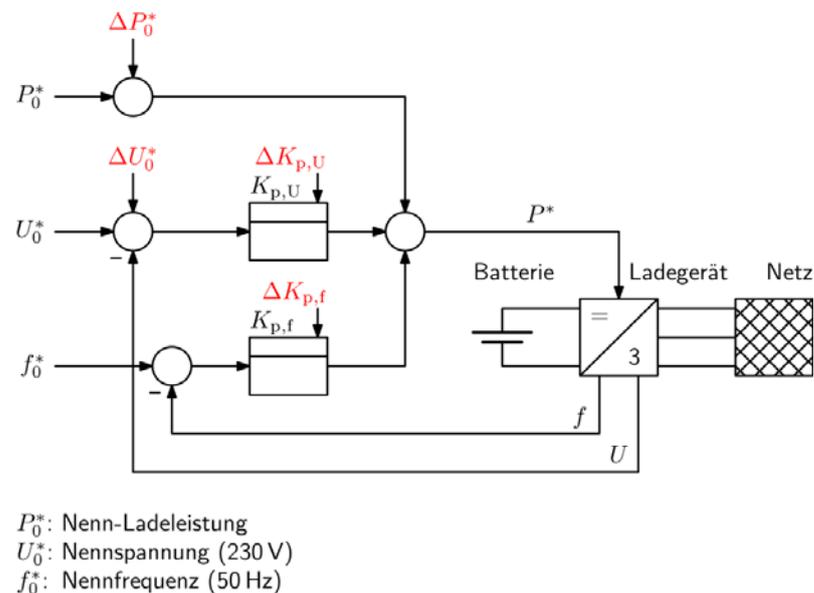


Abbildung 4: Reglerstruktur des netzdienlichen Ladeverfahrens

Die rot markierten Parameter in Abbildung 4 können im Betrieb über die Power-Quality Map nachgeführt werden. Besteht keine Verbindung zur Power-Quality Map arbeitet das Ladegerät eigenständig mit dem fest vorgegebenen Parametersatz. So ist bleibt das dynamische Verhalten des Ladegeräts und die Reaktionsfähigkeit auf lokale Netzereignisse auch ohne Online-Verbindung erhalten.

Messwerterfassung und Datenübertragung: Die Anforderungen an die Power-Quality Map zur Speicherung und Visualisierung des orts aufgelösten Netzzustandes sowie zur Parameteroptimierung des Ladeverfahrens wurden spezifiziert.

Für die Kommunikation mit der Power-Quality Map und zur Datenübertragung zwischen den einzelnen Geräten wurden mit den Projektpartnern die einzelnen Kommunikationswege und die zugehörigen Übertragungsprotokolle spezifiziert.

Für die ortsfeste, genaue Messung der ortsunabhängigen Netzfrequenz im Verbundnetz sowie für die stationäre Messung des lokalen Netzzustandes und des Lastflusses in den Haushalten bzw. den Prosumerzellen wurde eine Messboxen entwickelt. Abbildung 5 zeigt eine solche Messbox und einen zugehörigen Messschrieb einer Messung des Netzzustandes.

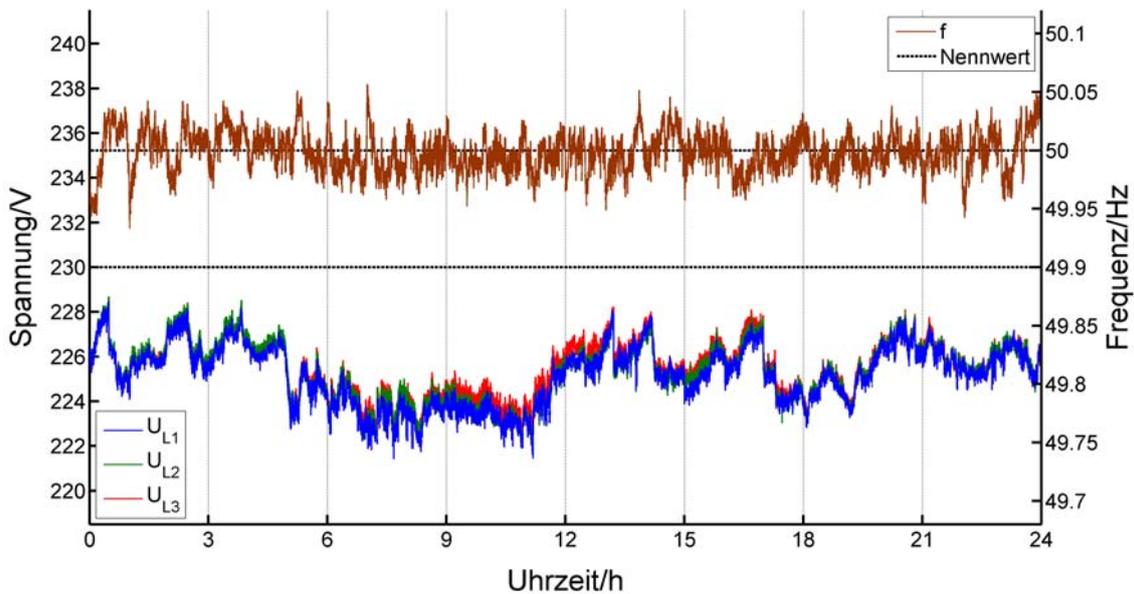
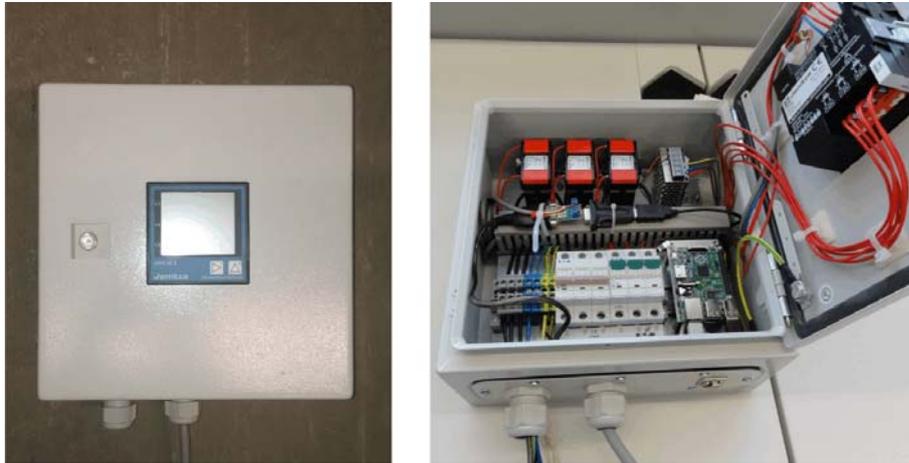


Abbildung 5: (oben) Entwickelte Messbox zur stationären Überwachung des Netzzustandes und Lastflussmessung in der Prosumerzelle mit Anbindung an die Power-Quality Map;
(unten) Mit einer Messbox aufgenommener Netzzustand und Lastfluss

Entwicklung und Untersuchung der Ladetechnik: Im Rahmen des Projekts werden drei technische Entwicklungslinien verfolgt:

- Für das hochschuleigene Versuchsfahrzeug wird ein rückspeisefähiges Ladegerät nach dem Prinzip der Virtuellen Synchronmaschine (VISMA) entwickelt und aufgebaut.
- Zusammen mit der FINE Mobile GmbH als Lieferant marktverfügbarer Elektrofahrzeuge

Projekt: Tanken im Smart Grid

werden zwei Fahrzeuge mit entsprechend modifizierter Ladetechnik zur lastabhängigen Ladeleistungsmodulation aufgebaut.

- Die RegenerativKraftwerke Harz (RKWH) erweitern ihre auf Elektroantrieb umgerüstete Audi A2 um ein dreiphasiges Schnellladegerät, das ebenfalls das netzdienliche Laden unterstützen soll.

Abbildung 6 zeigt das Schema des Ladegeräts, der für das hochschuleigene Versuchsfahrzeug – ein auf Elektroantrieb umgerüsteter Smart-Roadster – entwickelt wird. Der Ladeumrichter setzt sich aus einem batterieseitigen, bidirektionalen Gleichspannungswandler, für die Anpassung der Batteriespannung von 100 V auf die Zwischenkreisspannung von 700 V, und einem netzseitigen Puls-Wechsel-/Gleichrichter in Brückenschaltung zusammen.

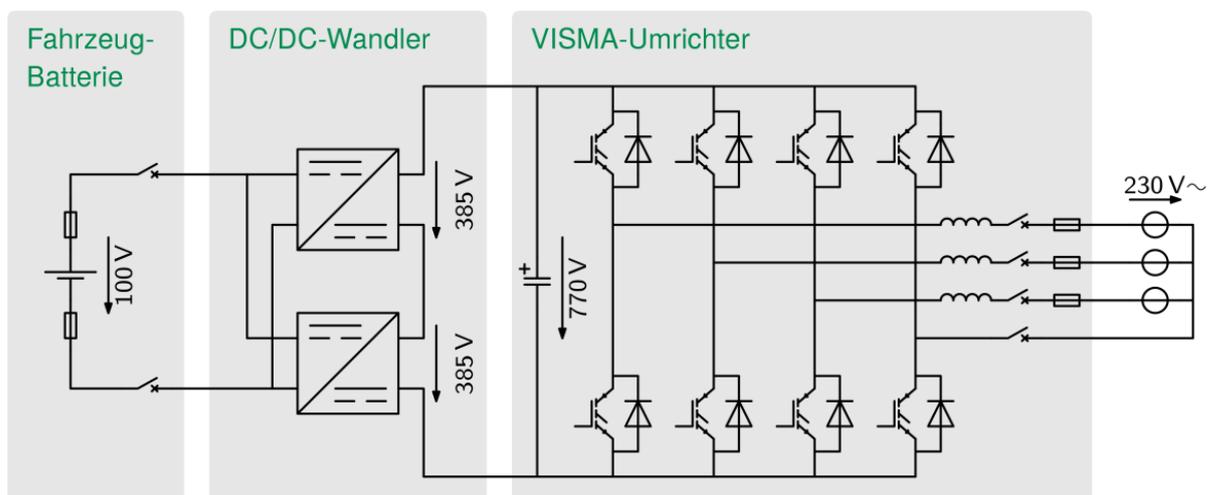


Abbildung 6: Schema VISMA-Ladegerät für den hochschuleigenen Smart Roadster

Die zugehörige Laderegulation ist so konzeptioniert, dass sie netzstützend agiert, ohne auf eine Kommunikation mit einem zentralen Managementsystem angewiesen zu sein. Dazu werden die Netzparameter Frequenz und Spannung ausgewertet und es wird entsprechend der Primärregelung eines Kraftwerks mit einer angepassten Ladeleistung darauf reagiert. Durch eine zusätzliche, nicht zwingend erforderliche Kommunikationsverbindung zur Power-Quality-Map können die Regelparameter standort- und netzparameterabhängig nachgeführt und damit das Ladeverhalten weiter optimiert werden.

Fördernde Stelle:	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)	
Projektpartner:	Technische Universität Clausthal - Energie-Forschungszentrum Niedersachsen (EFZN) - Institut für Elektrische Energietechnik und Energiesysteme (IEE) - Institut für Elektrische Informationstechnik (IEI) - Institut für Informatik (IfI) Bornemann AG (BAG) Bundesverband Solare Mobilität e. V. (BSM) Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V. (FfE) RegenerativKraftwerke Harz GmbH u. Co. KG (RKWH)	
Bearbeiter:	Dipl.-Ing. Benjamin Schwake benjamin.schwake@tu-clausthal.de	(Tel: 72-2929)
Projektleiter:	Dr.-Ing. Dirk Turschner turschner@iee.tu-clausthal.de	(Tel: 72-2592)