

Kurzfassung des Abschlussberichts

**Metastudie Forschungsüberblick
Netzintegration Elektromobilität**

Dezember 2018



Eine Studie im Auftrag von:

VDE FNN

bdew

Energie. Wasser. Leben.

Herausgeber:

FGH e.V.

Anschrift:

Besselstraße 20-22
68219 Mannheim
Deutschland

Telefon: +49 621 976807-10

Telefax: +49 621 976807-70

E-Mail: info@fgh-ma.de

Internet: www.fgh-ma.de

Bearbeiter:

Dr.-Ing. Hendrik Vennegeerts

M. Sc. Jacob Tran

M. Sc. Felix Rudolph

M. Sc. Pascal Pfeifer

Aachen, Dezember 2018

Kurzfassung der Metastudie Forschungsüberblick Netzintegration Elektromobilität

Die gesellschaftlich gewollte und politisch geförderte Energiewende stellt die deutschen Elektrizitätsversorgungsnetze vor große Herausforderungen. Neben dem fortschreitenden Zubau an Erzeugungsleistung erneuerbarer Energien befindet sich zukünftig auch die Lastseite im Wandel. Insbesondere die Auswirkungen der Elektrifizierung des Verkehrssektors sind für die Netzbetreiber aufgrund der dynamischen technologischen Entwicklung im Fahrzeugbereich und des noch unklaren Ladeverhaltens durch die Anschlussnutzer mit großen Unsicherheiten behaftet. Unstrittig ist allein, dass Elektromobilität (E-Mobilität) bei zunehmender Marktdurchdringung einen signifikanten Effekt auf die Lastseite haben wird und dass aufgrund der Langfristigkeit der Netzplanung bereits heute die Weichenstellungen für eine erfolgreiche Netzintegration der E-Mobilität erfolgen sollten.

Die zu erwartenden Auswirkungen auf die Netze bei gleichzeitig hoher Unsicherheit bezüglich der Entwicklung der E-Mobilität motivieren gegenwärtig und in den vergangenen Jahren eine Vielzahl von Forschungsinitiativen zur E-Mobilität. Der Fokus der Untersuchungen sowie die betrachteten Szenarien sind dabei sehr vielfältig und decken einen weiten Betrachtungsbereich ab.

Als wichtige Ansprechpartner zur Integration der E-Mobilität in das deutsche Stromnetz haben das Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE (VDE|FNN) und der Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW) die Forschungsgemeinschaft für elektrische Anlagen und Stromwirtschaft e.V. (FGH) damit beauftragt, im Rahmen einer Metastudie die aktuellen Forschungserkenntnisse zusammenzutragen und vergleichend zu bewerten. Auf dieser Basis sollen Handlungsempfehlungen für die technische Regelsetzung, Netzbetreiber und die Regulierung sowie der weitere Forschungsbedarf abgeleitet werden.

Die Metastudie hat demnach folgende aufeinander aufbauende Ziele:

1. Erarbeitung eines Überblicks über relevante Forschungsprojekte
2. Analyse der Vorgehensweisen und Annahmen zur technischen Ausgestaltung der E-Mobilität in den Studien und die Bewertung des Einflusses auf die Netzbelastung
3. Formulierung von Handlungsempfehlungen für eine erfolgreiche Netzintegration
4. Ableitung von weiterem Forschungsbedarf

284 nationale und 36 internationale Studien und Forschungsprojekte (im Folgenden zusammenfassend mit Studien bezeichnet) liegen der Metastudie zu Grunde. Sie entstammen einer umfangreichen Recherche und Auswertung relevanter Forschungsprojekte, wissenschaftlicher Veröffentlichungen sowie Dissertationen. Anhand der Kriterien Vollständigkeit von Angaben für quantitative Auswertungen sowie Umfang und Klarheit der Schlussfolgerungen wurde danach ein Pool von 60 Studien (52 national und 8 international) aus dem Themenfeld Netzintegration von E-Mobilität ausgewählt. Aufbauend auf einer detaillierten Analyse der Studien wurde anschließend ein Parameterset zur Szenarienbeschreibung erarbeitet. Dieses Parameterset (z.B. Marktdurchdringung der E-Mobilität, Steuerbarkeit der Ladeeinrichtungen sowie dessen Einsatzziel, Anstieg der Netzbelastung) definiert die Grundlage für eine einheitliche Auswertung aller ausgewählten Studien. Da viele Studien aus dem Pool mehrere im Sinne dieses Parametersets unterscheidbare Szenarien betrachten, ergeben sich 157 auswertbare Szenarien. Bei der quantitativen Auswertung wurden die Simulations- und Messer-

gebnisse aus Feldtests in den Studien gegenübergestellt und im qualitativen Teil Erkenntnisse der Studien themenbezogen zusammengefasst.

Zentrale Handlungsempfehlungen der Metastudie für eine erfolgreiche Netzintegration sind:

Gleichzeitigkeit und lokale Netzsituation sind zentrale Kenngrößen

Ergebnisse der betrachteten Studien

Der zentrale Bewertungsparameter der Metastudie ist der auf Betriebsmittel bezogene Anstieg der maximalen Auslastung (im Folgenden als Anstieg der Netzbelastung bezeichnet). Referenzwert für diesen Anstieg ist die Auslastung ohne Berücksichtigung von E-Fahrzeugen. Um den Einfluss der E-Mobilität auf die Netzbelastung möglichst genau einschätzen zu können, wurden verschiedene Parameter zur Beschreibung der E-Mobilität ausgewertet. Einer der wichtigsten Parameter ist die Durchdringung an E-Fahrzeugen (im Folgenden kurz Durchdringung) im betrachteten Netz. Ausgehend von der Gesamtzahl betrachteter Szenarien wurde daher der Einfluss der Durchdringung auf die Netzbelastung untersucht. Dabei zeigte sich zunächst, dass neben der Durchdringung andere Einflussgrößen, wie etwa unterschiedliche Steuerungs- und Netzausbauprämissen, die resultierende Netzbelastung maßgeblich beeinflussen. Um den Einfluss dieser Größen auf die Netzbelastung bei der Auswertung zu reduzieren, wurden ähnliche Szenarien entsprechend der beispielhaften Vorgehensweise in Abbildung 1 gruppiert untersucht. Die nachfolgende Auswertung beschränkt sich auf Szenarien, die das Niederspannungsnetz betrachten, da nur dort eine größere Anzahl von Szenarien aus den Studien resultiert und die höchsten Anstiege der Netzbelastung ausgewiesen wurden.

Abbildung 2 zeigt den Anstieg der Netzbelastung in Abhängigkeit der ausgewiesenen Durchdringung bei Auswahl der betrachteten Szenarien anhand der in Abbildung 1 gezeigten Vorgehensweise. Die verbleibenden 44 Szenarien weisen mit zunehmender Durchdringung im jeweiligen Netzausschnitt eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Überlastungen infolge des Anstiegs der Netzbelastung und somit die Notwendigkeit netzentlastender Maßnahmen auf. Einige Ausreißer, wie sie in Abbildung 2 gekennzeichnet sind, können durch die Annahmen der Studien zur Gleichzeitigkeit der Ladevorgänge begründet werden. Der Gleichzeitigkeitsfaktor (GZF) beschreibt für eine Gruppe von Verbrauchern die Wahrscheinlichkeit, dass diese gleichzeitig ihre maximale Leistung verbrauchen. Eine weitere Filterung der Szenarien in Abhängigkeit der Gleichzeitigkeit konnte aufgrund der oftmals fehlenden Angabe dieses Parameters nicht durchgeführt werden. Dennoch verdeutlichen die Kommentare in Abbildung 2 sowie eine gezielte Auswertung der verfügbaren zwölf Szenarien mit ausgewiesenen oder ableitbaren Angaben zur Gleichzeitigkeit und Durchdringung die Notwendigkeit einer kombinierten Betrachtung beider Parameter bei der Bewertung des Einflusses der E-Mobilität auf die Netzbelastung.

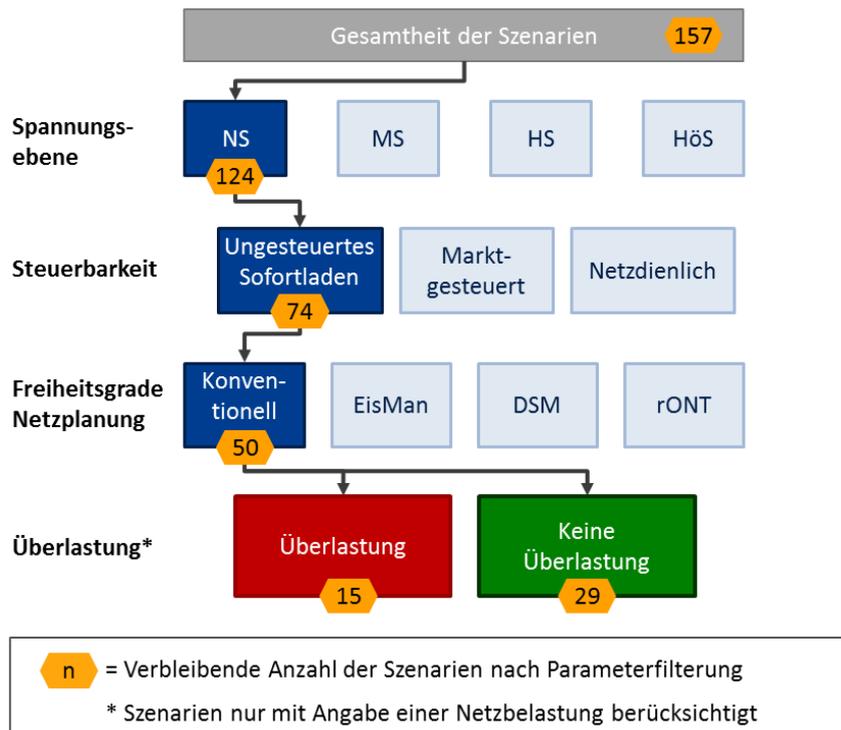


Abbildung 1 Vorgehensweise der Parameterfilterung bei der Untersuchung des Einflusses der Durchdringung auf die Netzbelastung

Abbildung 3 zeigt dazu den Anstieg der Netzbelastung in Abhängigkeit dieser beiden Parameter. Es wird ersichtlich, dass eine hohe Durchdringung nicht automatisch einen hohen Anstieg der Netzbelastung bedingt. So sind bei Szenarien mit hohen Durchdringungsangaben, aber niedrigen GZF, ähnlich hohe relative Anstiege der Netzbelastung zu verzeichnen, wie bei Szenarien mit relativ kleinem Anteil E-Mobilität aber hohen GZFs. Neben der Durchdringung beeinflusst also auch der GZF maßgeblich die Netzbelastung. Da im GZF der Einfluss vieler Parameter wie Leistungen der Ladeeinrichtungen, Ladekurve oder Nutzung der E-Mobilität zusammengefasst sind, ist dies auch zu erwarten.

Da die Ergebnisse selbst bei selektiver Auswahl der Szenarien nach Abbildung 1 und der Berücksichtigung der verfügbaren GZFs überdies noch sehr unterschiedliche Netzbelastungen ausweisen, lässt sich keine szenarienübergreifend gültige kritische Durchdringung ableiten. Dies ist zum Teil auch durch den Einfluss nicht betrachteter Parameter und Annahmen zu erklären. So hängt die auftretende Netzbelastung insbesondere auch von der untersuchten Netztopologie, der Dimensionierung des Netzes auf die vorliegende Versorgungsaufgabe ohne Berücksichtigung von E-Mobilität sowie der Entwicklung dieser Versorgungsaufgabe, der Position der Ladeeinrichtungen im Netz und deren Nutzung ab. Doch auch eine weitere Filterung der Szenarien nach diesen Parametern schafft keine belastbarere Aussage zur kritischen Durchdringung und des erforderlichen Netzausbaus.

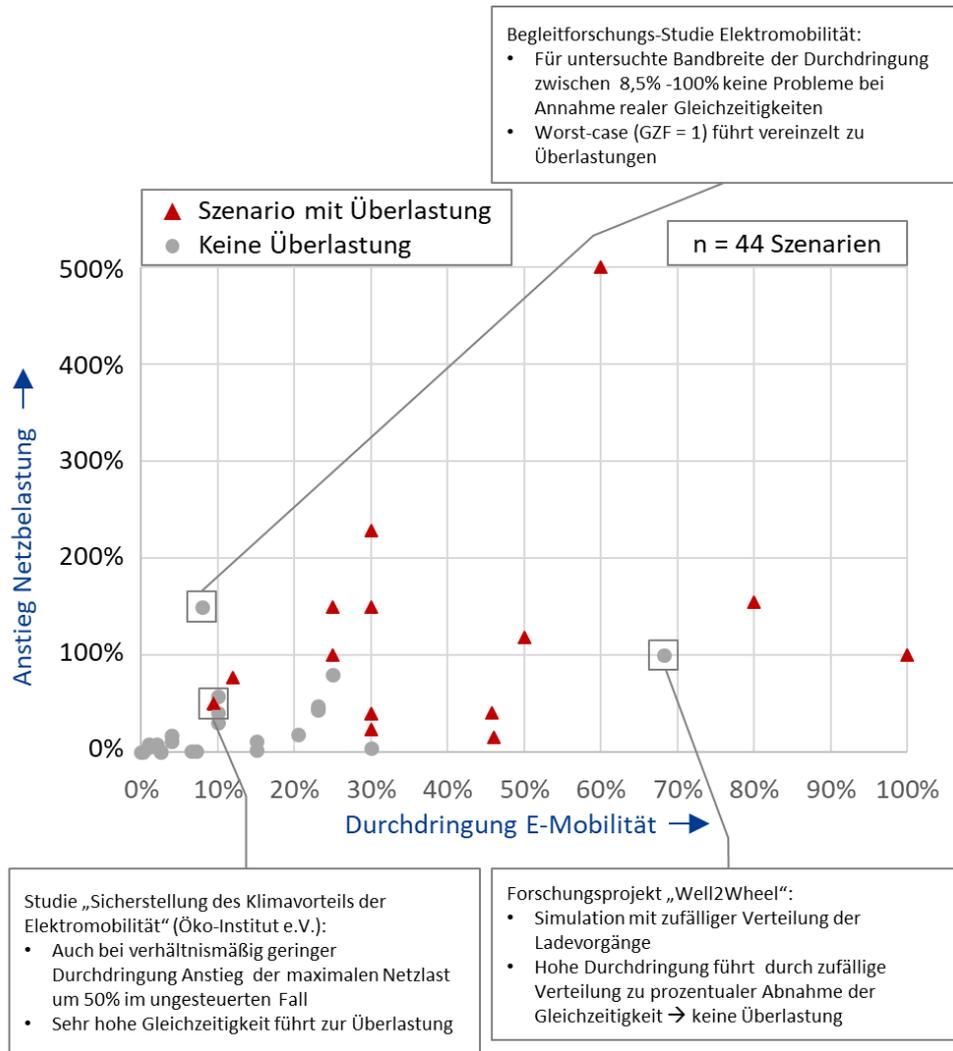


Abbildung 2 Übersicht der Szenarien in Abhängigkeit der Durchdringung und des Anstiegs der Netzbelastung nach Parameterfilterung

Die Übertragbarkeit und Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse aus den betrachteten Studien wird auch dadurch erschwert, dass oftmals nur wenige exemplarische Netzausschnitte betrachtet werden. Zudem wird häufig eine homogene Verteilung der Ladeeinrichtungen bei ähnlicher Nutzung der E-Mobilität unterstellt. Dies lässt aber außer Betracht, dass die lokale Durchdringung selbst innerhalb einzelner Netzabschnitte stark unterschiedlich sein kann. Dieser Effekt wird begünstigt durch das verfügbare Einkommen in bestimmten Vierteln und Regionen, die Möglichkeit zur Errichtung privater Ladeinfrastruktur auf eigenen Grundstücken sowie aus der Untersuchung der Einflussfaktoren auf die Installation von PV-Anlagen bekannten nachbarschaftlichen Nachahmer-Effekte. Daher sind lokal auch bei geringen Durchdringungen der E-Mobilität bereits Überlastungen möglich.

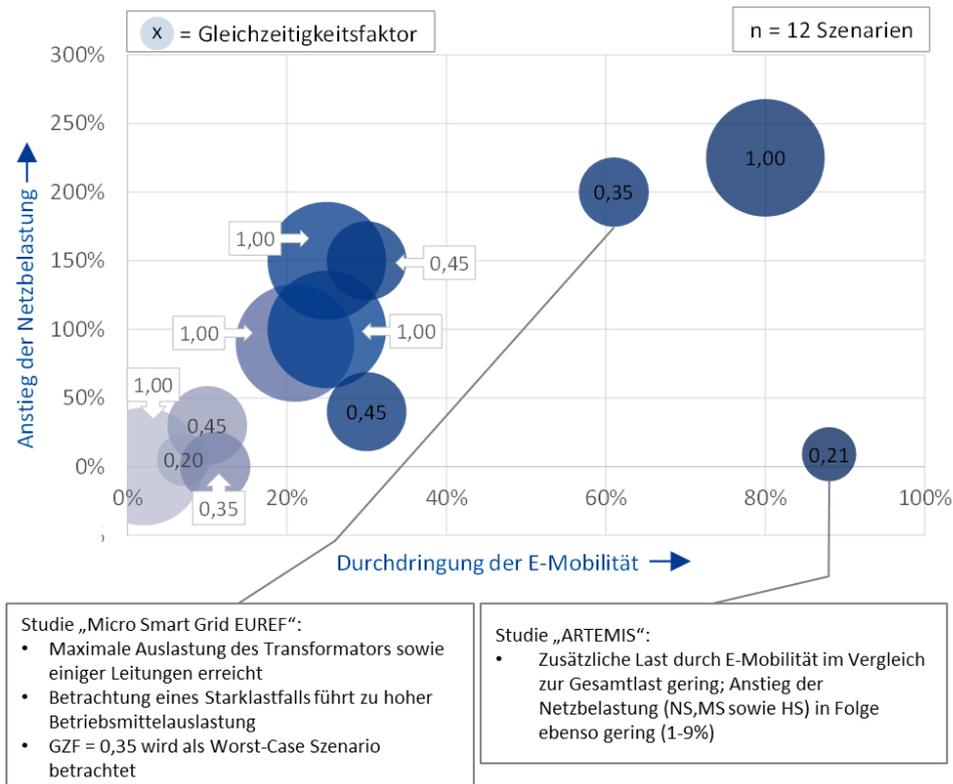


Abbildung 3 Kombinierte Betrachtung der Einflüsse von Gleichzeitigkeit und Durchdringung auf den Anstieg der Netzbelastung

Die aus der Elektromobilität resultierende Netzauslastung ist im Wesentlichen abhängig von zwei Faktoren:

- 1**
 - 1. der Anzahl der Elektrofahrzeuge, ihrer Ladekurve und der aus ihrem Ladeverhalten resultierenden Gleichzeitigkeit**
 - 2. die konkrete lokale Situation im jeweiligen Verteilnetz.**

Entwicklungspfad der E-Mobilität noch nicht erkennbar

Ergebnisse der betrachteten Studien

Eine aufgrund der langen Nutzungs- und Abschreibungsdauern von Betriebsmittel gebotene längerfristig angelegte Netzausbauplanung erfordert für die Netzbetreiber entsprechende Prognosen der zukünftigen Netzbelastung. Für den Ausgangspunkt einer solchen Prognose weist Abbildung 4 die Durchdringung in Abhängigkeit des Betrachtungszeitpunkts für die diesbezüglich auswertbaren 115 Szenarien aus. Dabei wird deutlich, dass in den Studien unterschiedliche Annahmen zur Durchdringung getroffen wurden, wobei insbesondere als progressiv klassifizierte Szenarien eine hohe Streuung aufweisen. Die Berücksichtigung mehrerer Szenarien unterschiedlicher Durchdringung in vielen Studien deutet bereits auf die hohe Unsicherheit bezüglich einer geeigneten Wahl dieses Parameters hin.

Die Autoren der Studien betonen vielfach, dass die Entwicklung der E-Mobilität nicht nur von technischen Faktoren abhängt, wobei bereits diese aufgrund der technischen Entwicklungen für größere

Zeiträume nur schwer prognostizierbar sind. Vielmehr spielen politische Entscheidungen eine große Rolle, insbesondere zur Förderung beim Erwerb von E-Fahrzeugen oder beim Ausbau der Ladeinfrastruktur.

Unter Einbezug der Erkenntnisse aus dem vorhergehenden Abschnitt, nach dem zahlreiche heute kaum prognostizierbare Ausgestaltungsparameter für die E-Mobilität die resultierende Netzbelastung bestimmen, ergibt sich offensichtlich eine hohe Prognoseunsicherheit für die Netzplanung. Dies stellt für die Netzbetreiber einen erheblichen Risikofaktor dar. Wie oftmals beim Ausbau der Dezentralen Erzeugungsanlagen (DEA) mangels sinnvoller Alternativen erzwungen, droht erneut ein rein anlassbezogener Netzausbau, anstatt mit hinreichend belastbar prognostizierbarer Entwicklung der E-Mobilität den Netzausbau effizienter gestalten zu können.

2

Aus den untersuchten Szenarien lassen sich keine belastbaren Entwicklungspfade für die E-Mobilität und ihre technische Ausgestaltung ableiten. Es besteht demnach eine hohe Unsicherheit über die zukünftige Ausgestaltung der E-Mobilität und ihren Auswirkungen. Dies stellt ein hohes Risiko für Netzbetreiber dar. Daher benötigen Netzbetreiber Werkzeuge zum Umgang mit dieser Unsicherheit.

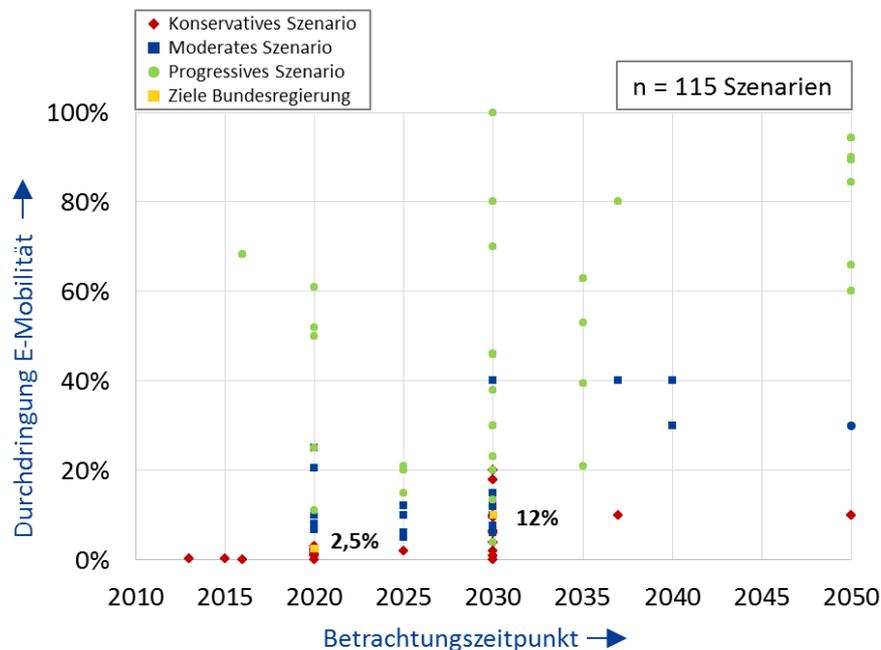


Abbildung 4 Übersicht der Szenarien in Abhängigkeit der Durchdringung und des Betrachtungsbereiches

Handlungsempfehlungen

Netzbetreiber brauchen Werkzeuge, um auf die lokale Entwicklung der Netzbelastung durch E-Mobilität zu reagieren und so mit der zuvor skizzierten Unsicherheit umgehen zu können. Beispielsweise wird in den Studien für Ladeeinrichtungen eine angemessene Anmeldepflicht empfohlen¹. Trotz der Anmeldepflicht verbleiben für den Netzbetreiber Unsicherheiten bei der Prognose der Netzbelastung aufgrund des nicht bekannten tatsächlichen Nutzerverhaltens. Für die Verteilnetze der

¹ In den aktuell in der Verabschiedung befindlichen technischen Netzanschlussregeln – insbesondere VDE-AR-N 4100 für die NS-Ebene – sind solche Anmeldepflichten bereits verankert.

Mittel- und vor allem auch der Niederspannungsebene kann der aktuelle Belastungszustand mangels fehlenden Messeinrichtungen und deren zentrale Auswertung heute betrieblich in der Regel nicht überwacht werden. Damit liegt eine Voraussetzung für eine gezielte übergreifende Steuerung der Ladeeinrichtungen nicht vor. Daher sind kurzfristig implizite, dezentral wirkende Maßnahmen erforderlich, mit denen eine Überlastung verhindert werden kann. Hier ist z. B. eine an den Ladeeinrichtungen parametrierbare P(U)-Regelung vorzuschlagen. Mindestens ist eine Eingriffsmöglichkeit für Netzbetreiber vorzusehen, mit denen eine Option zur temporären Reduzierung und Verschiebung der bezogenen Leistung besteht. Diese kann auf dem jeweils bestehenden Informationsgrad zur aktuellen Netzbelastung genutzt werden. Langfristig ist damit bei hergestellter Beobachtbarkeit eine gezielte und maximale Ausnutzung der vorhandenen Netzkapazität zulassende Steuerung möglich.

Netzdienliche Steuerbarkeit ist entscheidend

Ergebnisse der betrachteten Studien

Eine Betrachtung der Szenarien mit netzdienlicher Ladesteuerung im Vergleich zum ungesteuerten Sofortladen hinsichtlich des Anstiegs der Netzbelastung zeigt, dass durch intelligente Steuerungskonzepte die Gleichzeitigkeit der Ladevorgänge und somit die Belastung des Stromnetzes deutlich verringert werden kann. Dazu zeigt Abbildung 5 den Anstieg der Netzbelastung in Abhängigkeit der Durchdringung und berücksichtigter netzdienlicher Steuerung der Ladeeinrichtung. Die Auswertung umfasst 43 Szenarien für das Niederspannungsnetz mit moderater und progressiver Durchdringung

Erwartungsgemäß zeigt sich, dass beim Großteil der Szenarien mit netzdienlicher Steuerung ein vergleichsweise geringerer Anstieg der Netzbelastung ausgewiesen wird. Hier gelingt durch die Steuerung eine Verschiebung der Ladung in Zeitbereiche geringerer Netzauslastung bzw. eine Begrenzung der Gleichzeitigkeit. Auch bei Durchdringungen deutlich über 20 % weisen einige Szenarien mit netzdienlicher Steuerung nur einen geringfügigen Anstieg der Netzbelastung aus. Zugleich treten jedoch ab einer Durchdringung von 30 % in einem Großteil der Szenarien mit netzdienlicher Steuerung trotzdem Netzüberlastungen auf. Eine detaillierte Analyse der Studien hat gezeigt, dass oftmals die Einführung der netzdienlichen Steuerung zwar zu einer starken Reduzierung der Betriebsmittelbelastung geführt hat, dies jedoch bei großen Durchdringungen ohne weitere Maßnahmen im Netzbetrieb oder in Form von Netzausbau zur Vermeidung von Überlastungen nicht ausreicht (vgl. Abbildung 5, Götz²). Andere Studienergebnisse betonen aber auch, dass die netzdienliche Steuerung die Netzbelastung so weit reduziert, dass oftmals nur noch in den Gebieten mit lokal hoher Konzentration von E-Mobilität Betriebsmittelüberlastungen auftreten. Somit ist grundsätzlich kein großflächiger Netzausbau notwendig.

² Götz, A.: Zukünftige Belastungen von Niederspannungsnetzen unter besonderer Berücksichtigung der Elektromobilität, Diss. TU Chemnitz, 2015

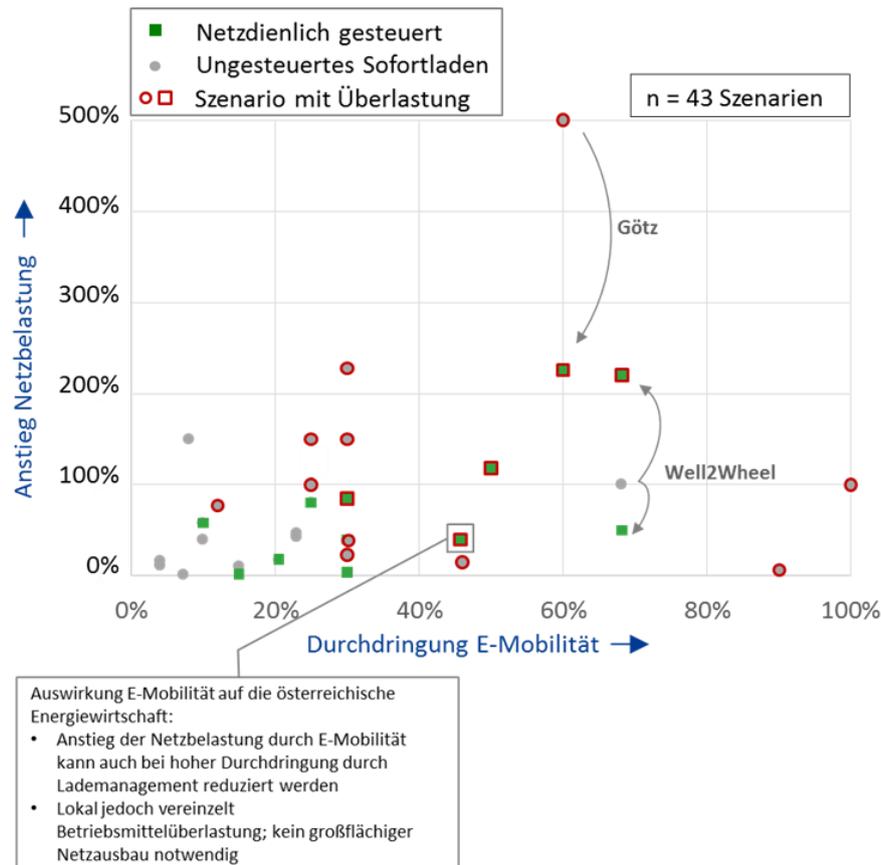


Abbildung 5 Übersicht Szenarien in Abhängigkeit der Ladesteuerung, der Durchdringung und des Anstiegs der Netzbelastung nach Parameterfilterung

Die Autoren der Studie „Well2Wheel“³ weisen darauf hin, dass die netzdienliche Steuerung der Ladeeinrichtung, insbesondere bei hoher lokaler Durchdringung, individuell ausgestaltet werden muss. Am Beispiel einer zeitlich orientierten Steuerung (kollektive Sperrung der Ladeeinrichtung in Zeiten hoher Netzbelastung) konnte aufgezeigt werden, dass nach Ende der Sperrung durch einen gleichzeitigen Start der Ladevorgänge die Gleichzeitigkeit schlagartig ansteigt. Die maximale Netzbelastung liegt somit sogar über der des Referenzfalls ohne Ladesteuerung. Mit dem Ansatz einer „individuellen“ netzdienlichen Steuerung kann die Netzbelastung gezielt reduziert werden. In dieser Studie wurden die Kunden dazu gemäß ihrem Nutzungsverhalten und ihres Standorts in Gruppen eingeteilt, die bei Erkennung einer erhöhten Netzbelastung gezielt zur Vermeidung von Netzengpässen hinsichtlich der bezogenen Leistung gesteuert wurden.

Handlungsempfehlung

Die netzdienliche Steuerung ist vor dem Hintergrund der vorgenannten hohen Unsicherheiten bei der Entwicklung von Durchdringung, Nutzung und GZF für E-Mobilität als Sicherheitsmaßnahme für das Netz und zur Optimierung des Netzausbaus durch Gewinn an Prognosesicherheit – letzteres ähnlich wie bei der Spitzenkappung für Erzeugungsanlagen – zu empfehlen. Nur dann ist es für Netzbetreiber möglich, auch kurzfristig den Anschluss vieler Ladeeinrichtungen an ihre Netze zu ermöglichen.

³ Well2Wheel – Integration von Elektromobilität in Smart Grids, 2016, <http://www.well2wheel.de>

3

Eine netzdienliche Steuerbarkeit der Ladeeinrichtungen ist entscheidend für eine erfolgreiche, kurzfristig realisierbare Netzintegration der E-Mobilität

Flexibilität durch E-Mobilität

Ergebnisse der betrachteten Studien

Wechselwirkungen zwischen der E-Mobilität und Erneuerbaren Energien-Anlagen (EE) zum Netzausbau konnten aufgrund des starken Fokus der Studien auf städtische Netze anhand einer quantitativen Auswertung der Szenarien nicht eindeutig belegt werden. Auf Basis einer qualitativen Auswertung der Studien sowie Modellüberlegungen ist jedoch durchaus zu erwarten, dass in Netzen mit hoher Durchdringung erneuerbarer Energie positive Effekte auf die Integrationsfähigkeit der E-Mobilität vorliegen können. Dazu konnten in der Metastudie folgende zwei Fälle identifiziert werden:

1. Im Sinne eines lokalen Energiemanagements, kann mit Hilfe der netzdienlichen Steuerung der Ladeeinrichtungen die Integration von erneuerbaren Energien im Verteilnetz unterstützt werden. Die enge Randbedingung der hinreichenden lokalen Durchmischung von Erzeugungsanlagen und Ladeeinrichtungen setzt diesem Effekt aber klare Grenzen. Das gilt insbesondere auf der NS-Ebene, wo die Durchmischung zur Vermeidung von Leitungsüberlastungen bereits auf Abgangsebene gewährleistet sein müsste.
2. Eine Systemintegration der E-Mobilität setzt eine Orientierung der Ladevorgänge an der gesamten, nationalen – und unter Beachtung grenzüberschreitender Übertragungskapazitäten – auch europaweiten aktuellen Einspeisung auf Basis erneuerbarer Energien voraus. Bei einer Marktsteuerung der Ladeeinrichtungen an einem einheitlichen Börsenpreis kann eine solche Systemorientierung unterstellt werden. Ein überregionaler systemdienlicher Ausgleich von eingespeister Leistung aus erneuerbaren Energien und bezogener Leistung der Ladevorgänge führt jedoch zwangsweise zu hohen Gleichzeitigkeiten und somit zum Anstieg der Verbrauchslast. Es besteht demnach ein Zielkonflikt zwischen der zur Vermeidung lokalen Netzausbaus gewünschten netzdienlichen Steuerung und der oftmals zu hohen Gleichzeitigkeit führenden marktorientierten Steuerung. Dieser Zielkonflikt könnte ggf. durch geeignete Priorisierungsmechanismen anhand von Systemdaten aufgelöst werden im Sinne einer volkswirtschaftlich optimalen Lösung unter Berücksichtigung gegebener Betriebsbedingungen.

4

Lokale Synergieeffekte zwischen E-Mobilität und der Einspeisung aus erneuerbaren Energien sind möglich. Für einen höheren Beitrag der E-Mobilität zur Systemintegration der erneuerbaren Energien sind jedoch sowohl die Steuerbarkeit als auch mittelfristig entsprechend ausgebaute Netze erforderlich.

Weiterentwicklung der regulatorischen Rahmenbedingungen

Ergebnisse der betrachteten Studien

Alle Netzbetreiber sind gesetzlich verpflichtet, ein zuverlässiges und leistungsfähiges Energieversorgungsnetz zu betreiben. Um das auch im Zuge der Energiewende zu gewährleisten, müssen die Netze

den Anforderungen entsprechend angepasst werden. Die Modernisierung und der Ausbau der Netze erfolgt unter den Rahmenbedingungen der Anreizregulierung. Die Studien betonen oftmals, dass der Einsatz von Smart Grid-Lösungen anstelle eines ausschließlich konventionellen Netzausbaus im aktuellen System der Regulierung nicht ausreichend angereizt wird. Dabei stellen gerade innovative Lösungen, wie die Steuerung der Ladeeinrichtungen bis zu einem gesamtheitlich vertretbaren Ausmaß eine vergleichsweise kostengünstige, effiziente und schnell umzusetzende Lösung dar.

Ein bereits in der Vergangenheit vielfach diskutiertes Konzept zur Unterstützung eines sicheren Netzbetriebs durch E-Mobilität ist die Rückspeisung von gespeicherter Energie aus Batterien der E-Fahrzeuge ins Netz (auch Vehicle to Grid genannt). Über eine bidirektionale Schnittstelle an den Ladeeinrichtungen können Batteriespeicher der E-Fahrzeuge prinzipiell für Netz- und Systemdienstleistungen zur Verfügung stehen. Nach übereinstimmender Aussage der diesen Aspekt behandelnden Studien ist jedoch die Bereitstellung von Systemdienstleistung oftmals nicht wirtschaftlich positiv darstellbar. Neben den hohen Zykluskosten der Batterien spielen dabei aktuelle regulatorische Rahmenbedingungen zur Netzentgeltssystematik sowie Gestaltung der Regelenergiemärkte eine Rolle.

Handlungsempfehlungen

Der Regulierungsrahmen sollte daher so angepasst werden, dass innovative technische Lösungen wie z. B. die Steuerung der Ladeeinrichtungen sowie die Möglichkeit für bidirektionales Laden so angereizt werden, dass sich die gesamtwirtschaftlich sinnvollste Kombination aus konventionellem Netzausbau und innovativen Lösungen auch für den Netzbetreiber optimal umsetzbar ist.

5 Eine Anpassung der regulatorischen Rahmenbedingungen ist notwendig zur Ermöglichung von bidirektionalem Laden sowie zur kurzfristig umsetzbaren Implementierung intelligenter Technologien.

Die Metastudie identifizierte folgende Forschungsbedarfe:

- 1**

Gleichzeitigkeit muss ausgewiesen werden
Ein zentraler Faktor für die Netzbelastung ist die Gleichzeitigkeit der Ladevorgänge. Diese Kennzahl fasst die Eingangsdaten hinsichtlich der Wirkung auf die Netze vor der tatsächlichen Netzberechnung objektiv zusammen und ist zudem für die Netzplanungspraxis leicht zugänglich. Die Annahmen bezüglich der Gleichzeitigkeit werden in den bisherigen Studien nur selten ausgewiesen.

→ In zukünftigen Studien sollte die Gleichzeitigkeit zur besseren Vergleichbarkeit grundsätzlich berücksichtigt und ausgewiesen werden.
- 2**

Aktuelle Technologien und Entwicklung müssen berücksichtigt werden
Die verfügbaren Studien betrachten oftmals Fahrzeug- und Ladetechnologien, die aufgrund der dynamischen Entwicklung nicht mehr den Stand der Technik abbilden (bspw. Batteriekapazität, Ladeleistung). Zudem wird die Auswirkung zunehmender E-Mobilität im Gewerbesektor kaum betrachtet. Auch finden sich nur wenige Untersuchungen, die das Zusammenwirken unterschiedlicher Lademöglichkeiten (privat, öffentlich, halböffentlich) detailliert nachbilden. Schließlich wird in der Regel die heutige Mobilitätsnutzung unverändert in die Zukunft übertragen.

→ Künftige Forschungsprojekte sollten umfassende, zukunftsgerichtete Modelle von Mobilitätskonzepten verwenden und darauf basierend die Auswirkung auf die unterschiedlichen Spannungsebenen analysieren.
- 3**

Bisher Fokus auf (vor-)städtische Netze – Forschungsbedarf ländliche Netze
Die betrachteten Studien untersuchen überwiegend städtische Niederspannungsnetze, so dass die Herausforderungen in ländlichen Netzen nicht umfassend untersucht werden.

→ Zukünftige Studien sollten ländliche Netze untersuchen, insbesondere bezüglich der Herausforderungen bei der Spannungshaltung und der Möglichkeit zur Blindleistungsbereitstellung durch Ladeeinrichtungen.
- 4**

Aspekte der Spannungsqualität künftig stärker berücksichtigen
Neben den Grenzen für Strom und Spannung werden nur selten die in Verteilnetzen ebenfalls zu beachtenden Aspekte zur Spannungsqualität adressiert.

→ Künftige Studien sollten auch den Einfluss auf die Spannungsqualität, insbesondere Unsymmetrien beim einphasigen Laden und Netzurückwirkungen (Oberschwingungen) betrachten.
- 5**

Netzausbaubedarf wurde kaum quantifiziert
Nur wenige der untersuchten Studien quantifizieren den Netzausbaubedarf. In den Fällen, in denen dies erfolgt, ist die Aussage auf die ausgewählten Modellnetze beschränkt.

→ Es besteht weiterhin Forschungsbedarf hinsichtlich einer repräsentativen Ermittlung des Netzausbaubedarfs in Abhängigkeit von der Versorgungsaufgabe.