Analyse des Ladestrombedarfs

Elektromobilität ohne Netzverstärkung – Teil 1

In einem Mehrfamilienwohngebäude lässt sich der Ladestrom einer komplett elektrifizierten Tiefgarage durch den nur für den gewöhnlichen Haushaltsstrom dimensionierten Netzanschluss bewerkstelligen. In einer Studie wurden sowohl der Haushaltsstrom-Lastgang als auch der Ladestrombedarf analysiert. Eine Verstärkung des Netzanschlusses des Wohngebäudes ist nicht erforderlich. Im Teil 1 zeigt der Verfasser eine Simulationsstudie zum Lastgang des Haushaltsstroms. Im in der nächsten Ausgabe folgenden Teil 2 wird analysiert, welchen Komfort die ungenutzte Anschlussleistung für den Ladebetrieb ermöglicht.

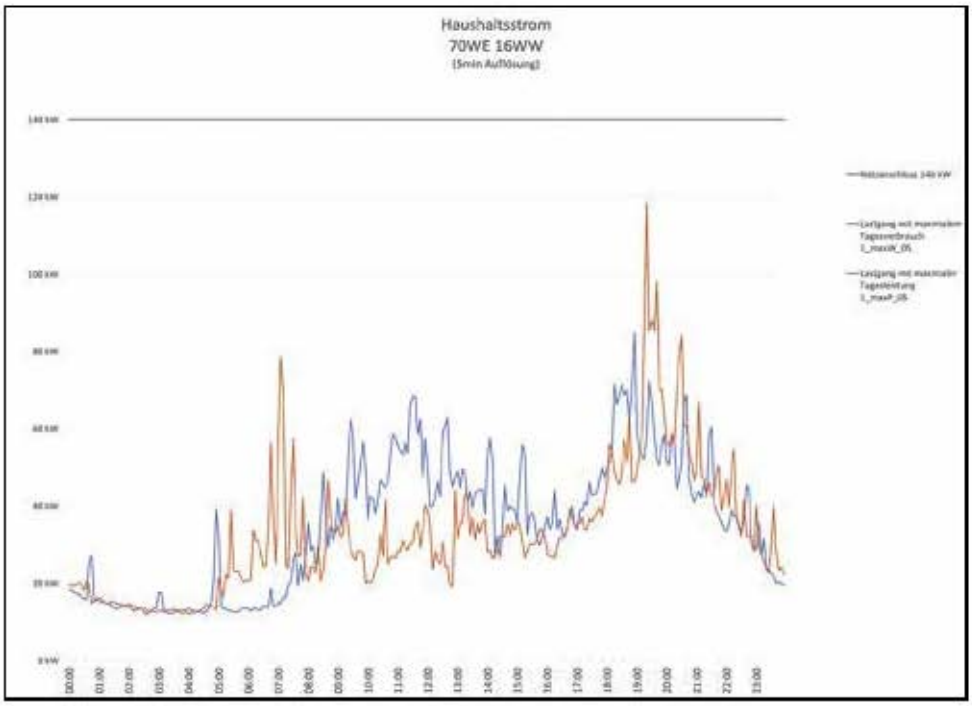

Bild 1. Lastgangbeispiele mit höchsten Tagesverbrauch (35 kW Mittelwert) und höchster Lastspitze (119 kW$_p$) Quelle: SynPRO

Dipl.-Phys. Dr. *Michael Grömer*, Energieeffizienz-Experte für Förderprogramme des Bundes, Ingenieurbüro für energieeffiziente Lebensgestaltung, Mainz

Mehrgenerationen-Wohnprojekt

Im März 2018 wurde das Projekt »49°Nord – rundum bunt« [1] gestartet und das Ziel formuliert: Lebenslanges Gemeinschaftliches Wohnen in einer von uns gestalteten zukunftsfähigen Architektur in einem urbanen Umfeld. Drei Jahre später wurde zusammen mit zwei anderen Baugruppen ein Grundstück erworben und die Baugenehmigung für einen Gebäudekomplex mit 70 Wohneinheiten und 53 Pkw-Stellplätzen in der städteplanerisch vorgeschriebenen Tiefgarage erhalten [2]. Der Stellplatzschlüssel von weniger als einem Stellplatz je Wohnung zeigt, dass sich die Verantwortlichen mit einem zukunftsfähigen Mobilitätskonzept beschäftigt haben. Unter anderem sollten drei Stellplätze für Carsharing-Fahrzeuge reserviert werden.

Selbstverständlich sollten alle Stellplätze »zukunftsfähig« für elektrische Ladestationen vorgerüstet sein. Allerdings überstieg der für das Bauvorhaben berechnete Gesamtstromanschluss den maximal verfügbaren Wert für das Baufeld um das Dreifache. Die erwünschte Zukunftsfähigkeit schien schon lange vor dem Einzug beendet zu sein. Doch den enttäuschten Bauherren wurde schnell ein Ausweg präsentiert. Ein speziell für das Bauvorhaben installierter 20 000-V-Mittelspannungstransformator könne für eine ausreichende Versorgung sorgen. Erst als sich herausstellte, dass dieser Transformator mit seinen bedenklichen elektromagnetischen Streufeldern Wand an Wand zum geplanten Kindertoberaum platziert werden muss, fingen die Planer an, den Stromanschlussbedarf – insbesondere unserer zukünftigen Elektromobilität – etwas genauer zu betrachten.

Netzanschluss für Elektromobilität

Was ist allgemein bekannt über die Ladeinfrastruktur von Elektromobilität?

- Theoretisch ist das Laden an einer haushaltsüblichen Schuko-Steckdose möglich, davon ist aber aus Sicherheitsgründen abzuraten (Verbraucherzentrale).
- Die üblichen Ladeleistungen liegen für den Heimbedarf zwischen 1,4 kW und 22 kW (Verbraucherzentrale [3]).
- Im KfW-Programm für den Heimbedarf 440 [4] werden nur »Wall-

boxen« mit 11 kW Ladebegrenzung gefördert.
- Die »Supercharger« [5] des E-Mobilitäts-Pioniers »Tesla« wurden anfangs mit 90 kW Ladeleistung gebaut. Inzwischen haben erste Tesla-Ladestationen über 250 kW Anschlussleistung.

Eine hohe Ladeleistung erscheint also als Voraussetzung für den Umstieg zu einer zukunftsfähigen Mobilität. Die geplanten 53 Stellplätze des Wohnprojekts sollten demnach überwiegend mit 11-kW bis 22-kW-Ladesäulen ausgestattet werden, wobei die drei Carsharing-Plätze eine Schnellladekapazität von möglichst 70 kW erreichen sollten. In der Netzanschlussberechnung wurden unter Berücksichtigung von Gleichzeitigkeitsfaktoren insgesamt rd. 150 kW als Anteil der Kfz-Elektromobilität berücksichtigt.

Wenn der Mittelspannungstransformator im Wohngebäude vermieden werden sollte, musste die vom Netzbetreiber angebotene Gesamt-Anschlussleistung von 250 kW genügen. Davon waren die Planer sehr weit entfernt.

Fragestellung: Ladeinfrastruktur ohne zusätzlichen Stromanschluss?

Zunächst war es nötig, sich von der gängigen Meinung zu lösen, dass E-Autos nicht nur zusätzlichen Strom benötigen, und dass dieser Strom nur durch eine Netzverstärkung zum Verbraucher gelangen kann. In der Mainzer Allgemeinen Zeitung vom 05.08.2021 war nach einem Informationsaustausch mit den Mainzer Stadtwerken zu lesen: »Ist das Mainzer Stromnetz für immer mehr E-Autos gerüstet? Die Zahl der Ladestellen in privaten Garagen steigt. Die Anbieter fühlen sich gut vorbereitet. Auf Eigentümer, die ihren Netzanschluss verstärken wollen, kommt dennoch einiges zu. …«

Für die hier beschriebene Studie wurde daher folgende Frage formuliert:
- Können mit dem Netzanschluss für den Haushaltsstrom von 70 Wohneinheiten (davon 16 mit elektrischer Warmwasserbereitung) gleichzeitig auch 53 Stellplätze (davon drei für Carsharing) betrieben werden?

Die Fragestellung vereinfacht das oben beschriebene Projekt in Bezug auf die nicht erwähnte Haustechnik, die mit den insgesamt erwähnten 250 kW Anschlussleistung zusätzlich noch betrieben wird. Auch nicht berücksichtigt ist die geplante große Photovoltaikanlage mit einem elektrischen Speicher.

Wenn es eine positive Lösung gäbe, müsste sie offensichtlich durch ein Energiemanagement geleistet werden. Der Haushaltsstrom muss dabei Priorität haben. Ladestrom steht dann zur Verfügung, wenn der Netzanschluss nicht vollständig für den Haushaltsstrom benötigt wird. Bisher wird Energiemanagement typischerweise für die bevorzugte Nutzung von Photovoltaikstrom eingesetzt, solange die Stromerzeugung immer noch fossile Quellen nutzt. Die hier vorliegende Fragestellung hat dagegen einen anderen Schwerpunkt. Lassen sich die Lastgangkurven von Haushaltsstrom und die Lastgangkurven von E-Autos so aufeinander abstimmen, dass der gewünschte Komfort ohne Stromnetzverstärkung erreicht werden kann? Zunächst stand also die Beschäftigung mit dem Haushaltsstrom eines 70-Parteien-Wohngebäudes an.

Stromanschluss eines Wohngebäudes

Ein Hausanschluss eines Mehrfamilienhauses muss den maximalen momentanen Strombedarf der Haushalte abdecken können. »Gleichzeitigkeit« ist hierbei das wichtige Stichwort. Die Hausanschlusswerte sind keinesfalls proportional zur Anzahl der Wohneinheiten! Die DIN 18015 »Elektrische Anlagen in Wohngebäuden« listet die normativen Anschlusswerte, von denen hier einige aufgeführt werden (*Tafel 1*):

Anzahl Wohneinheiten	Hausanschluss **ohne** elektrische Warmwasserbereitung kW	Hausanschluss **mit** elektrischer Warmwasserbereitung kW
5	41	81
10	55	107
16	67	125
20	72	134
30	82	153
40	89	165
70	102	189
80	104	195
100	108	205

Tafel 1. Hausanschlusswerte lt. DIN 18015

Ein Gebäude mit elektrischen Durchlauferhitzern (DLE) für Duschen oder Baden benötigt demnach etwa einen doppelten Hausanschlusswert. Das Gemeinschaftliche Wohnprojekt umfasst insgesamt 70 Wohneinheiten, von den nur 16 eine elektrische Warmwasserbereitung haben. Einen Tabellenwert sieht die Norm für diese Konstellation nicht vor. Für die Bemessung des Haushaltsstromanschlusses wurde die Summe aus 102 kW (für 70 WE) und 58 kW (Aufschlag für 16 WE mit elektrischer Warmwasserbereitung) betrachtet. Es ergibt sich ein konservativer Wert von 160 kW als Netzanschluss für den Haushaltsstrom. Tatsächlich werden als Durchlauferhitzer elektronische Komfort-DLE genutzt, die den Stromverbrauch so steuern, dass einegewünschteWassertemperatur ohne Beimengung von Kaltwasser bereitgestellt wird. Die Hersteller der DLE erwarten einen rd. 30 % geringeren Stromanschlussbedarf gegenüber hydraulischen DLE, die in der Norm angenommen werden.

		Simulation SynPRO		Simulation Wörner	
		Lastgang mit maximaler Tagesleistung	Lastgang mit maximalem Tagesverbrauch	Lastgang mit maximaler Tagesleistung	Lastgang mit maximalem Tagesverbrauch
Lastgang-Tagesdaten-Bezeichnung		1_maxP_05	1_maxW_05	2_maxP_05	2_maxW_05
Tagesmittelwert	kW	33	35	28	30
Tagesmaximum	kW	119	85	126	105
Tagesminimum	kW	12	12	7	7
Jahresverbrauch	kWh	269000		194000	
Jahresverbrauch je WE[1]	kWh	3400		2500	

Tafel 2. Tageslastgänge für 70 WE, davon 16 WE, mit jeweils höchstem Tagesverbrauch und höchster Spitzenlast aus den zwei Simulationsquellen bei fünfminütiger Auflösung

Für diese Studie wurden 140 kW als Stromanschluss für den Haushaltsstrom der 70 beschriebenen Wohneinheiten angenommen.

Simulation des Haushaltsstrom-Lastgangs

Geeignete reale Haushaltsstrom-Lastgangkurven von Mehrfamilienhäusern zu finden, war nicht möglich. Allerdings gab es Unterstützung durch zwei Forschungsprojekte, die solche Lastgangkurven simulieren:

1. Lastprofilgenerator »SynPRO« des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE; Kontakt war Dr. Benedikt Köpfer [6].
2. Dissertation von Dr. Patrick Wörner am Institut für Massivbau (TU Darmstadt) mit dem Titel: »Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Stromverbrauch in Wohngebäuden« [7].

Aus beiden Quellen konnten Simulationsdaten für ein Mehrfamilienhaus mit 70 Wohneinheiten, von denen 16 Wohneinheiten elektrische Warmwasserbereitung nutzen, gewonnen werden. Jede Wohneinheit soll im Mittel von drei Bewohnern genutzt werden. Die Daten zeigen Haushaltsstrom-Lastgänge für jeweils ein ganzes Jahr, also 365 Tage à 24 Stunden. Von »SynPRO« waren Lastgänge mit einer Auflösung von einer Minute zu erhalten. Die Simulationsdaten von Patrick Wörner hatten eine Auflösung von fünf Minuten. Zum Vergleich wurden beide Datenpakete in eine Auflösung der Lastgänge von fünf Minuten umgerechnet.

Zur weiteren Betrachtung wurden nicht die kompletten Jahresverläufe, sondern nur die »Worst Case«-Tage mit jeweils dem höchsten Gesamtstromverbrauch und dem höchsten Spitzenstromverbrauch aus den Jahresdaten herausgefiltert (*Bild 1*). Dabei zeigten diese Lastgänge die in *Tafel 2* aufgeführten Kennwerte.

Die Simulationsdaten passen gut zu den bekannten Verbrauchsstatistiken. Der »Stromspiegel« [8] zeigt für einen Drei-Personen-Haushalt in einem Mehrfamilienhaus einen Jahresverbrauch zwischen 1800 kWh/a und 3300 kWh/a bei einem Mittelwert von 3000 kWh/a. »SynPRO« hat in dieser Skala einen tendenziell hohen Stromverbrauch und Wörners Simulation einen »niedrigen« Gesamtverbrauch dargestellt. Beide zeigen Spitzenlasten von rd. 120 kW bei einer Fünf-Minuten-Auflösung. Diese Werte passen sehr gut zu dem oben gezeigten Netzanschluss von 140 kW. Hier ist schon zu sehen, dass davon selbst an den genannten »Worst Case«-Tagen nur im Tagesmittel 30 kW bis 35 kW für den Haushaltsbedarf benötigt werden. Damit verbleibt ein Potenzial von

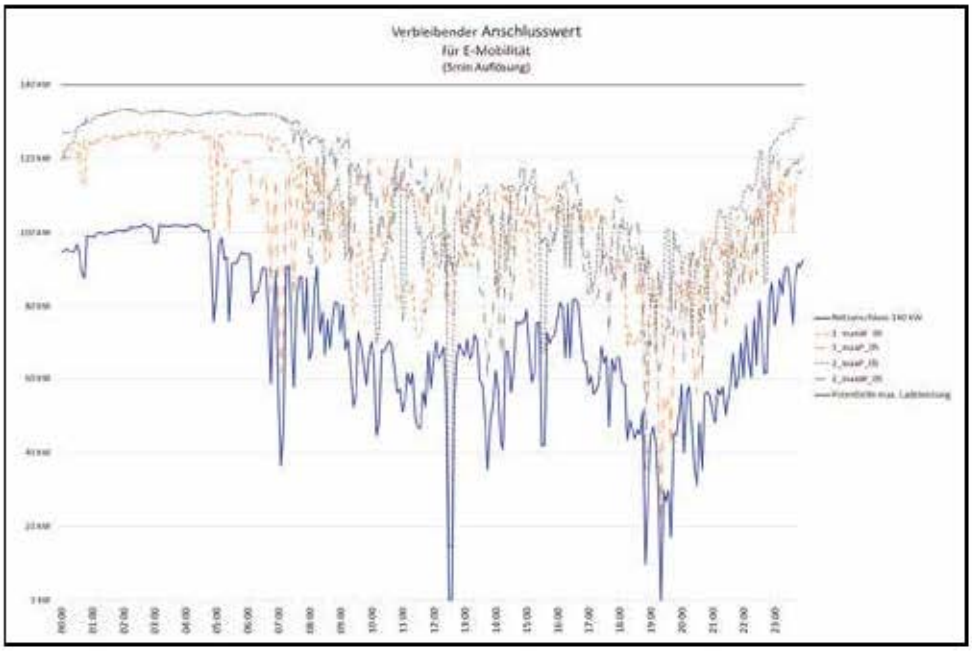

Bild 2. Überlagerung der vier »Worst Case«-Lastgänge mit 25 kW Puffer bis zum Netzanschluss 140 kW

über 100 kW im Tagesmittel für Ladevorgänge von E-Autos.

Im Sinne eines konservativen Ansatzes wurden für die weiteren Betrachtungen die Überlagerung der vier »Worst Case«-Tageslastgänge aus *Tafel 2* ermittelt. Für jede Uhrzeit wurde das Maximum der vier Kurven gewählt. Das Ergebnis kombiniert also höchste Lastspitzen mit höchstem Tagesgesamtverbrauch in einem neuen Tages-Lastgang, der in keinem Simulationsmodell so erscheint.

In *Bild 2* ist die Überlagerung der vier oben erläuterten Tageslastgangsimulationen als Differenz zum Netzanschlusswert 140 kW ablesbar. Außerdem soll ein zusätzlicher Puffer von 25 kW eine »versehentliche« kurzfristige Überlastung verhindern.

Zur Beantwortung der zentralen Frage (Ist eine Ladeinfrastruktur in unserem Gebäude ohne zusätzlichen Stromanschluss möglich?) wird die dargestellte resultierende Grafik als verbleibenden momentanen »Anschlusswert« für die Ladeinfrastruktur der Elektromobilität angesetzt.

In der nächsten Ausgabe wird gezeigt, welcher Ladekomfort für die 53 Stellplätze damit ermöglicht wird. Auch wird abgeschätzt, ob sich das Ergebnis für Wohnhäuser verallgemeinern lässt.

Literatur

[1] https://49grad-mainz.de/

[2] https://www.heiligkreuz-viertel.de/wohnen/baugruppen/

[3] https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/strom-sparen/elektroauto-mit-eigener-ladestation-solarstrom-vom-dach-laden-22557. Stand: 06.04.2020.

[4] https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestehende-ImmobilieF%C3%B6rderprodukte/Ladestationen-f%C3%BCr-Elektroautos-Wohngeb%C3%A4ude-(440)/. Stand: 11/2020.

[5] https://www.tesla.com/de_DE/support/supercharging Stand: 10/2021.

[6] Köpfer, B.: Lastprofilgenerator »synPRO« , Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, https://www.elink.tools/elink-tools/synpro.

[7] Wörner P.: (2020): Dissertation, https://www.researchgate.net/publication/347557412_Einfluss_des_Nutzerverhaltens_auf_den_Stromverbrauch_in_Wohngebauden_-_Entwicklung_eines_komplexen_Simulationsmodells_fur_energetische_Analysen

[8] https://www.stromspiegel.de/stromverbrauch-verstehen/stromverbrauch-3-personenhaushalt/, Stand: 10.03.2021

energie@gruenert-mz.de

www.49grad-mainz.de

Analyse des Ladestrombedarfs

Elektromobilität ohne Netzverstärkung – Teil 2

In einem Mehrfamilienwohngebäude lässt sich der Ladestrom der komplett elektrifizierten Tiefgarage durch den nur für den Haushaltsstrom dimensionierten Netzanschluss bewerkstelligen. In einer Simulationsstudie wurden sowohl der Haushaltsstrom-Lastgang als auch der Ladestrombedarf analysiert. Der Wagenpark eines Mehrgenerations-Wohngebäudes von 70 Wohneinheiten mit 50 E-Autos und drei E-Carsharing-Autos kann sehr komfortabel über ein Lademanagement geleistet werden. Eine Verstärkung des Netzanschlusses des Wohngebäudes ist nicht erforderlich.

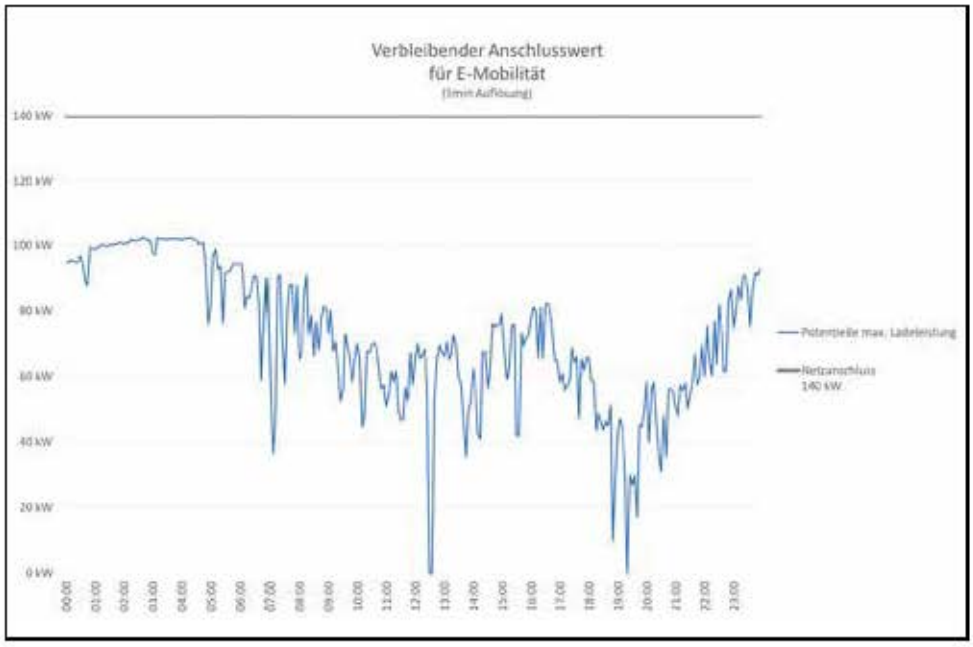

***Bild 1.** Potenzielle »Worst-Case«-Maximalladeleistung für den Wagenpark (s. Teil 1)*

Dipl.-Phys. Dr. ***Michael Grömer***, Energieeffizienz-Experte für Förderprogramme des Bundes, Ingenieurbüro für energieeffiziente Lebensgestaltung, Mainz

Mehrgenerationen-Wohnprojekt

Anlass für diese Studie ist das Mehrgenerationen-Wohnprojekt 49°Nord in Mainz [1]. Zusammen mit zwei weiteren Baugruppen wurde ein Gebäudekomplex mit 70 Wohneinheiten und 53 Pkw-Stellplätzen in der städteplanerisch vorgeschriebenen Tiefgarage errichtet [2]. Drei Stellplätze sollen für Carsharing-Fahrzeuge reserviert werden.

Selbstverständlich sollen alle Stellplätze für elektrische Ladestationen vorgerüstet sein. Allerdings überstieg der berechnete Gesamtstromanschluss den maximal verfügbaren Wert für das Baufeld um das Dreifache. Für die hier beschriebene Studie wurde daher folgende Frage formuliert: Können mit dem Netzanschluss für den Haushaltstrom von 70 Wohneinheiten (davon 16 mit elektrischer Warmwasserbereitung) gleichzeitig auch 53 Stellplätze (davon drei für Carsharing) betrieben werden?

Die Studie berücksichtigt weder den zusätzlichen Anteil des Netzanschlusses für Haustechnik, noch die geplante große Photovoltaikanlage mit einem elektrischen Speicher.

Im Teil 1 in **netzpraxis** 3/2022, S. 48ff. wurden Haushaltsstrom-Simulationsergebnisse des Lastprofilgenerators »synPRO« des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE [3] analysiert sowie die von Dr. Patrick Wörner am Institut für Massivbau der TU Darmstadt [4]. Das Ergebnis in *Bild 1* zeigt einen resultierenden »Worst-Case«-Tageslastgang als verbleibenden momentanen »Anschlusswert« für die Ladeinfrastruktur der Elektromobilität.

Elektromobilität

Die Stromlastganginformationen wurden mit Julia Maulhardt [5] aus Hameln besprochen. Sie ist Beraterin für Elektromobilität. Sie wurde um Überlegungen gebeten, ob sich der geplante Wagenpark komfortabel mit diesem Strom elektrisch betreiben ließe.

Ladebedarf eines Wohngebäude-Wagenparks

Wie bei den Überlegungen zum Haushaltsstrom in Teil 1 hat auch Maulhardt die Randbedingungen der Elektromobilität durchgängig sehr konservativ angesetzt. Sie geht davon aus, dass alle Fahrzeuge den Strom zu 100 % über den Anschluss der Tiefgarage beziehen. Die Fahrer hätten also keine Möglichkeit, öffentlich oder bei z. B. dem Arbeitgeber ihr Fahrzeug zu laden. Das ist wird in der Realität allerdings nie eintreten, da die öffentliche Ladeinfrastruktur schon sehr gut ausgebaut ist (s. auch die Studie »Netzlabor E-Mobility-Carré« [6] mit einem

Bewohner-Wagenpark von 45 E-Autos.)

Ladebedarf des Wagenparks

Zur Modellierung der täglichen Fahrstrecken unterscheidet Maulhardt zwischen den Fahrprofilen von 50 Pendlerfahrzeugen und denen von drei Carsharing-Fahrzeugen. Für die Pendler-Fahrzeuge nutzt sie die Erfassungen des Statistischen Bundesamts [7]. Angenommen wird, dass die Ladevorgänge erst um 17:00 Uhr beginnen und die ersten Autos bereits um 7:00 Uhr das Gebäude verlassen.

Die Erfahrungen eines Carsharing-Unternehmens prognostizieren eine mittlere Fahrleistung von 200 km für die drei Fahrzeuge. Deren Ladevorgänge sollten zwischen 20 Uhr und spätestens 7 Uhr erfolgen.

Zu dem durchschnittlichen Verbrauchswert eines Elektroautos von 20 kWh auf 100 km [8] kommt noch ein durchschnittlicher Wirkungsverlust beim Ladevorgang von 20 %. Die zu berücksichtigende tägliche Gesamtenergie, die vom Anschluss in Summe zur Verfügung gestellt werden muss, beträgt somit 758 kWh, wie *Tafel 1* zeigt.

Zwischenfazit 1: ausreichend Energiereserve

Mit den bisherigen Erkenntnissen kann man schon festhalten, dass ausreichend Energie durch den gewöhnlichen Hausanschluss zur Verfügung gestellt werden kann, um sowohl den Haushaltstrom als auch den Ladestrom der Elektroautos abzudecken:

- Ein Hausanschluss mit 140 kW kann täglich bis zu 140 kW × 24 h = 3360 kWh liefern.
- In den Haushaltsstrom-Simulationen ist eine maximale mittlere Tagesleistung von 35 kW ermittelt worden. Das ergäbe an solchen Tagen 35 × 24 = 840 kWh. Ein zusätzlicher Puffer von 25 kW, also 600 kWh sollte noch berücksichtigt werden. Damit stehen etwa 1700 kWh bilanziell für Elektromobilität zur Verfügung.
- Die Elektrofahrzeuge benötigen in der oben sehr konservativen Abschätzung rd. 760 kWh täglich, also nur etwa 45 % des bilanziellen Stromangebots.

Es bleibt noch zu bewerten, ob dieses Modell einen guten Nutzungskomfort für die Elektromobilität zulässt.

Ladekonzepte für den Wagenpark

Ladeleistung

Generell ist es möglich und auch für den Fahrzeugakku sehr vorteilhaft, wenn dieser möglichst langsam geladen werden kann. Dies sollte für die »Akkugesundheit« immer die favorisierte Ladungsart sein. Die technischen Gegebenheiten für das Laden der Fahrzeuge unter einer Dauerlast von 2,3 kW oder 3,6 kW mit Schukosteckern und -steckdosen müssen allerdings einige elektrische Sicherheitskriterien einhalten. Bei einem Neubau ist die Umsetzung des Langsamladens [9]

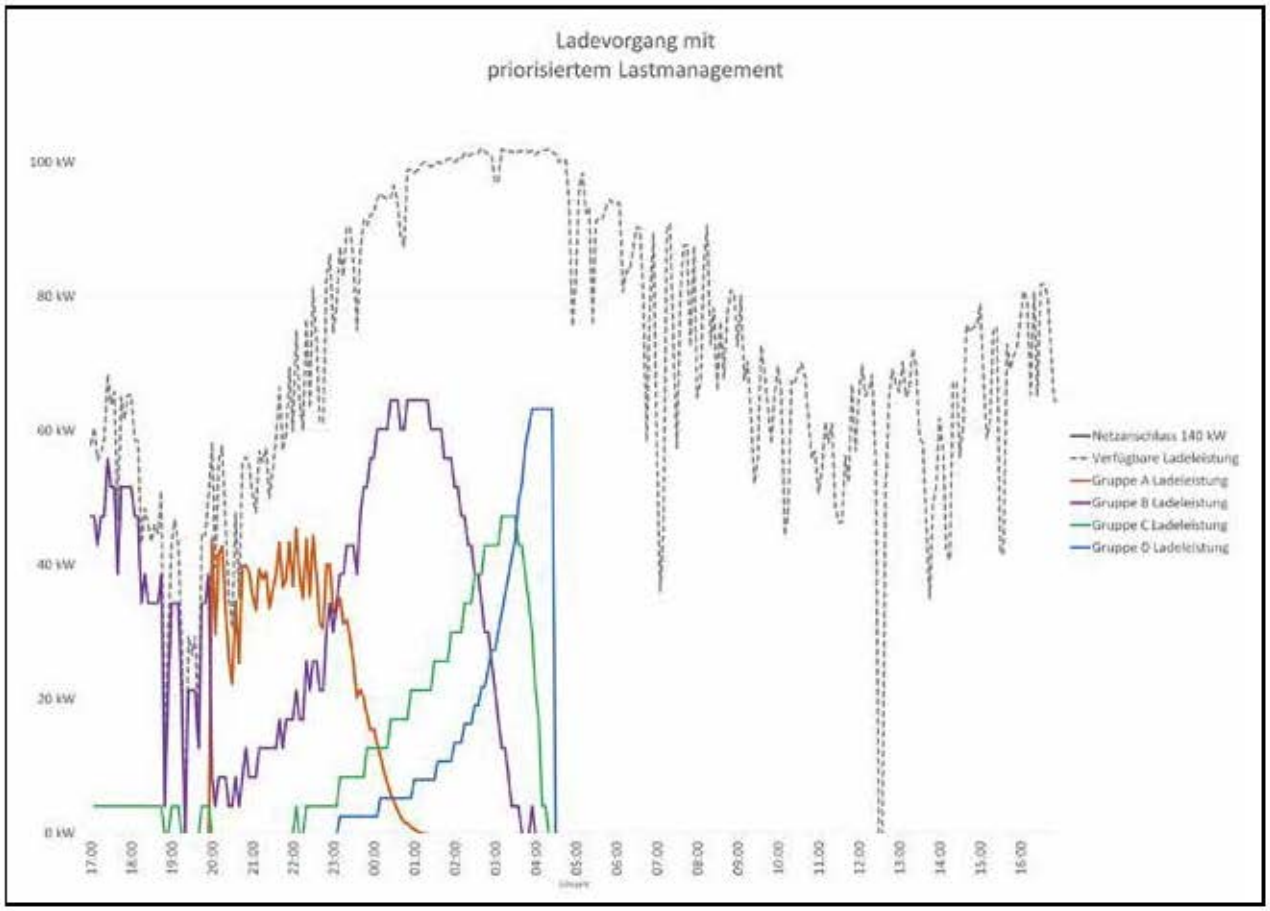

Bild 2. Ladevorgang für die Fahrzeuggruppen A bis D

Tagesfahrleistung km	Energiemenge kWh	Prozentuale Verteilung	Ladebedarf kWh/Tag	Anzahl Pkw	Ladebedarf gesamt kWh/Tag
bis 20 km	bis 4 kWh	42,9 %	4	23	92
bis 50 km	4 kWh bis 10 kWh	22,9 %	10	12	120
bis 100 km	10 kWh bis 20 kWh	10,9 %	20	6	120
100 km	ohne Angabe (20 kWh)	17,0 %	20	9	180
rd. 200 km	rd. 40 kWh	6,3 %	40	3	120
Summe 53 Fahrzeuge		100,0 %	–	53	632
Ladeverlust		20%	–	–	126
benötigte Energiemenge für 53 Fahrzeuge		–	–	53	758

Tafel 1. Täglicher Energiebedarf für den gesamten Wagenpark

sehr viel besser und kostengünstiger einzuplanen als im Bestand.

Der Wagenpark wurde abhängig vom Ladebedarf in vier Gruppen eingeteilt und die Ladezeiten abhängig von der verwendeten Ladeleistung ermittelt (*Tafel 2*).

Zwischenfazit 2: Ladeleistung

Die überraschende Erkenntnis aus diesem einfachen Model ist, dass bei einer Ladeleistung von akkuschonenden 3,6 kW über 40 % aller Fahrzeuge nach 1,5 Stunden und ein weiteres Viertel aller Fahrzeuge schon nach 3,5 Stunden für den nächsten Tagesverbrauch vollständig geladen sind. Für diese zwei Drittel aller Fahrzeuge ist die Forderung einer Schnellladung mit 11 kW oder sogar 22 kW Anschlussleistung offensichtlich unnötig.

Ladebetrieb mit Lastenmanagement

Es wurde ein Lastmanagement-Algorithmus simuliert, der Autos mit hohem Ladebedarf stark bevorzugt. Die jeweils zur Verfügung stehende Ladeleistung wird folgendermaßen auf die vier Gruppen aufgeteilt:

- Die Gruppen B bis D werden nur bedient, wenn die zugeteilte Gruppen-Last mindestens ein Fahrzeug mit ihrer definierten Leistung (B oder C: 3,6 kW; D: 2,3 kW) laden kann. Nur die Gruppe-A-Fahrzeuge werden immer alle gleichzeitig mit der zur Verfügung stehenden variablen Leistung bis 22 kW geladen.
- Jeder Gruppe wurde ein Prioritätsfaktor zugewiesen: A: Prio 100; B: Prio 15; C: Prio 5; D: Prio 2.
- Jeder Gruppe kann ein Zeitfenster zugewiesen werden. Für die Gruppe A ist zu erwarten, dass die Fahrzeuge erst ab 20 Uhr abgestellt werden, alle anderen Gruppen um 17 Uhr.

Mit den obigen Bedingungen bestimmt der Algorithmus für jede Gruppe den momentanen Gesamtbedarf der Ladeenergie und setzt ihn in das Verhältnis des mit dem Prio-Faktor gewichteten momentanen Ladebedarfs des gesamten Wagenparks. Im Laufe der Ladezeit reduziert sich der Ladebedarf. Entsprechend ändern sich durch die Priorisierung die Lastverhältnisse zwischen den Gruppen.

Die momentane Gesamt-Ladeleistung wird entsprechend *Bild 1* so geregelt, dass am Netzanschlusspunkt die Gesamtlast um einen Sicherheitspuffer geringer ist als der festgelegt Hausanschlusswert. In der Simulation wurde ein Puffer von 25 kW zur Maximallast von 140 kW angesetzt. Dadurch sollen Steuerprobleme oder zu große Trägheit bei der Laderegelung nicht zu einer Überlast des Hausanschlusses führen. *Bild 2* zeigt das Simulationsergebnis.

Die Gruppe B hat um 17 Uhr etwa zwei Drittel des gesamten Ladebedarfs und bekommt über die zusätzliche Priorisierung fast die gesamte verfügbare Leistung zugeteilt. Die Gruppe D wird noch nicht geladen, weil die Zuteilung nicht für mindestens ein Fahrzeug (2,3 kW) ausreicht. Eines von zwölf Autos der Gruppe C erhält eine Ladezuteilung von 3,6 kW.

Um 20 Uhr kommt die Gruppe A dazu und übernimmt den Großteil der Ladeleistung. Gegen 22 Uhr ist die Gruppe A mit ihren wenigen Fahrzeugen schon weitgehend geladen. Jetzt erhält auch die Gruppe C einen ersten nennenswerten Anteil der Last. Erst gegen 23 Uhr beginnt auch das Laden der Gruppe D.

Gegen 24 Uhr sind die drei Carsharing-Fahrzeuge nahezu vollgeladen. Gegen 2 Uhr sind trotz der geringen Ladeleistung von 3,6 kW alle 15 Fahrzeuge der Gruppe B (20 kWh) nahezu voll geladen. Gegen 3:30 Uhr ist die Gruppe B und schließlich um 4:30 Uhr sind alle 53 Fahrzeuge voll geladen.

Fazit

Das simulierte Ladeergebnis sollte für alle Nutzer als sehr komfortabel empfunden werden. Lange vor Ablauf der typischen Nachtruhe wird der Ladevorgang für alle Fahrzeuge beendet. Fahrzeuge mit großer Kilometerleistung sind zuerst wieder voll verfügbar.

Der potenzielle Wagenpark von 53 Fahrzeugen kann also sehr komfortabel vom nicht genutzten Strom des Gebäudes mit 70 Wohneinheiten versorgt werden. Die ursprünglichen Überlegungen einer Netzanschluss-Verstärkung mit einem 20 000-V-Mittelspannungstransformator waren

Gruppe	Energiemenge	Ladebedarf einschl. 20 % Verlust kWh	Anzahl Pkw	Prozentuale Verteilung	Ladezeit bei 2,3 kWh	Ladezeit bei 3,6 kWh	Ladezeit bei 11 kWh	Ladezeit bei 22 kWh
D	bis 4 kWh	4,8	23	42,9 %	2,1	1,3	–	–
C	4 bis 10 kWh	12,0	12	22,9 %	5,2	3,3	–	–
B	10 bis 20 kWh	24,0	6	10,9 %	–	6,7	2,2	–
	ohne Angabe (20 kWh)		9	17,0 %				
A	rd. 40 kWh	48,0	3	6,3 %	–	13,3	4,4	2,2

Tafel 2. Ladezeiten je Fahrzeuggruppe

einem übertriebenen Sicherheitsempfinden geschuldet.

Das heutige Angebot in Deutschland von Lademanagement-Systemen [10;11] ist noch überschaubar und entsprechend des Bedarfs noch am Entwicklungsbeginn. Die notwendigen genannten technischen Anforderungen für die erste Ausbaustufe der Elektrifizierung können aber schon erfüllt werden. Die Zukunftsfähigkeit des Wohnprojekts ist also auch in Bezug auf Elektromobilität gesichert.

Möglichkeiten und Grenzen für andere Wohngebäude-Konstellationen

Die hier gezeigten Daten wurden speziell für das Wohnprojekt 49°Nord zusammengestellt. Die Kombination aus Wohneinheitenanzahl, Wohneinheiten mit elektrischer Warmwasserbereitung, Stellplatzanzahl und Nutzungsprofil ist einzigartig. Sind die Schlussfolgerungen aber auch auf andere Wohngebäude anwendbar?

Anzahl der Wohneinheiten
Die Anschlussleistung steigt deutlich unterproportional zur Anzahl der Wohneinheiten (s. Teil 1, Tafel 1: Hausanschlusswerte lt. DIN 18015). Die Energiemenge des Haushaltsstroms ist aber proportional zur Anzahl der Wohneinheiten.[1)] Der Netzanschluss von kleineren Wohngebäuden bietet also eine deutlich größere Energiereserve für das Laden von Fahrzeugen.

Typ der Wohngebäude
Die Hausanschlüsse unterscheiden sich deutlich zwischen Gebäuden mit oder ohne elektrische Warmwasserbereitung. Die Norm sieht etwa eine doppelte Anschlussleistung für Gebäude mit Durchlauferhitzern vor. Dagegen zeigt die Erfassung des Stromspiegels, dass solche Haushalte nur etwa einen 40 % höheren Energiebedarf haben. Der Netzanschluss von Wohngebäuden mit elektrischer Warmwasserbereitung bietet also eine deutlich größere Energiereserve für das Laden von Fahrzeugen.

Reserven und Puffer
Die gezeigten Modelle haben nicht den Anspruch das zukünftige Ladeverhalten exakt abzubilden, sondern dass selbst unter ungünstigsten Bedingungen keine Verstärkung des Hausanschlusses benötigt würde. Es ist durchaus möglich, dass die Lastgangreserven des Haushaltsstroms mehr als die doppelte Anzahl von Stellplätzen unter realen Bedingungen versorgen können. Wir sind daher zuversichtlich, dass für die Wagenparks von Wohngebäuden immer eine komfortable Ladelösung ohne Netzverstärkung gefunden wird.

Literatur

[1] www.49grad-mainz.de.
[2] www.heiligkreuz-viertel.de/wohnen/baugruppen.
[3] Köpfer, B.: Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE, Lastprofilgenerator »synPRO«, www.elink.tools/elink-tools/synpro.
[4] Wörner, P.: Dissertation (2020), www.researchgate.net/publication/347557412_Einfluss_des_Nutzerverhaltens_auf_den_Stromverbrauch_in_Wohngebauden_-_Entwicklung_eines_komplexen_Simulationsmodells_fur_energetische_Analysen.
5] Maulhardt, J.: Beraterin für Elektromobilität (HWK), www.beratung-fuer-elektromobilitaet.de.
[6] www.netze-bw.de/unsernetz/netzinnovationen/netzintegration-elektromobilitaet/e-mobility-carre; Stand: 09/2021.
[7] Pendler Berufliche Wege, www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Arbeitsmarkt/Erwerbstaetige/ErwerbsbeteiligungBevoelkung.html.
[8] Hier gibt es aktuell viele unterschiedliche Angaben, die zw. 12 kWh und 25 kWh schwanken. Bei Testfahrten von unterschiedlichen Elektroautos mit konstant 130 km/h lagen die meisten unter 20 kWh/100km im Frühjahr, also ohne Heizung und ohne Klima, youtu.be/4zTaEygtf7A).
[9] www.stromtankstellen.eu/elektroauto-laden-schuko-steckdose.html.
[10] www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/elektromobilitaet/wallbox-lastmanagement, Stand: 06.10.2020.
[11] Ladesysteme Marktübersicht 2021: www.nivios.com/imz-489mr-7mfr7w7n-5ioc9k-hu-j14, Stand: 12/2021.

energie@gruenert-mz.de

www.49grad-mainz.de