

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 Mehrgenerationen-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.

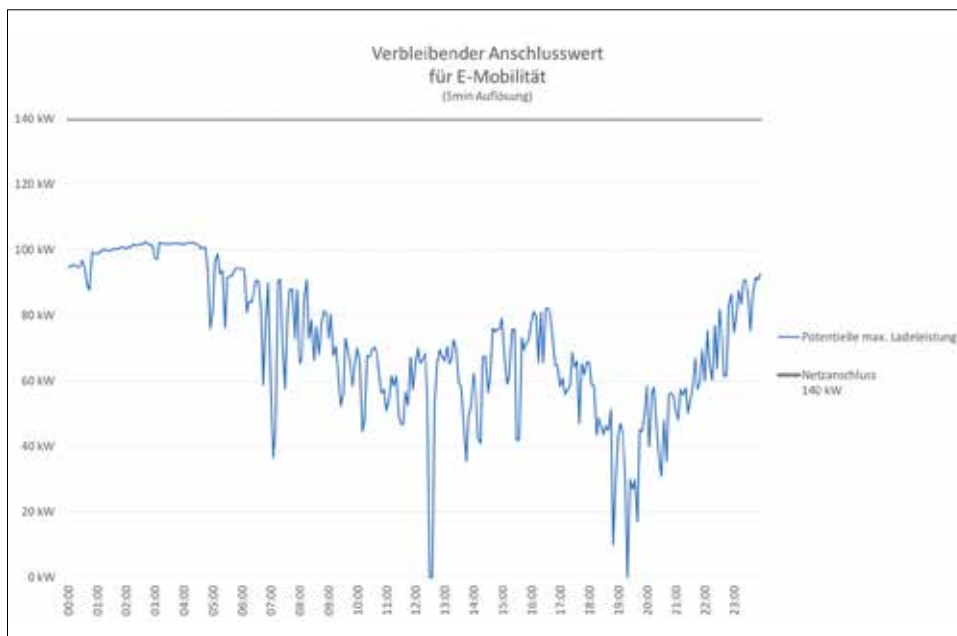


Bild 1. Potenzielle »Worst-Case«-Maximalladeleistung für den Wagenpark (s. Teil 1)

um das Dreifache. 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 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.

### 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

### 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



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

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 Haushaltsstrom als auch den Ladestrom der Elektroautos abzudecken:

- Ein Hausanschluss mit 140 kW kann täglich bis zu  $140 \text{ kW} \times 24 \text{ h} = 3360 \text{ kWh}$  liefern.
- In den Haushaltsstrom-Simulationen ist eine maximale mittlere Tagesleistung von 35 kW ermittelt worden. Das ergäbe an solchen Tagen  $35 \times 24 = 840 \text{ kWh}$ . 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]

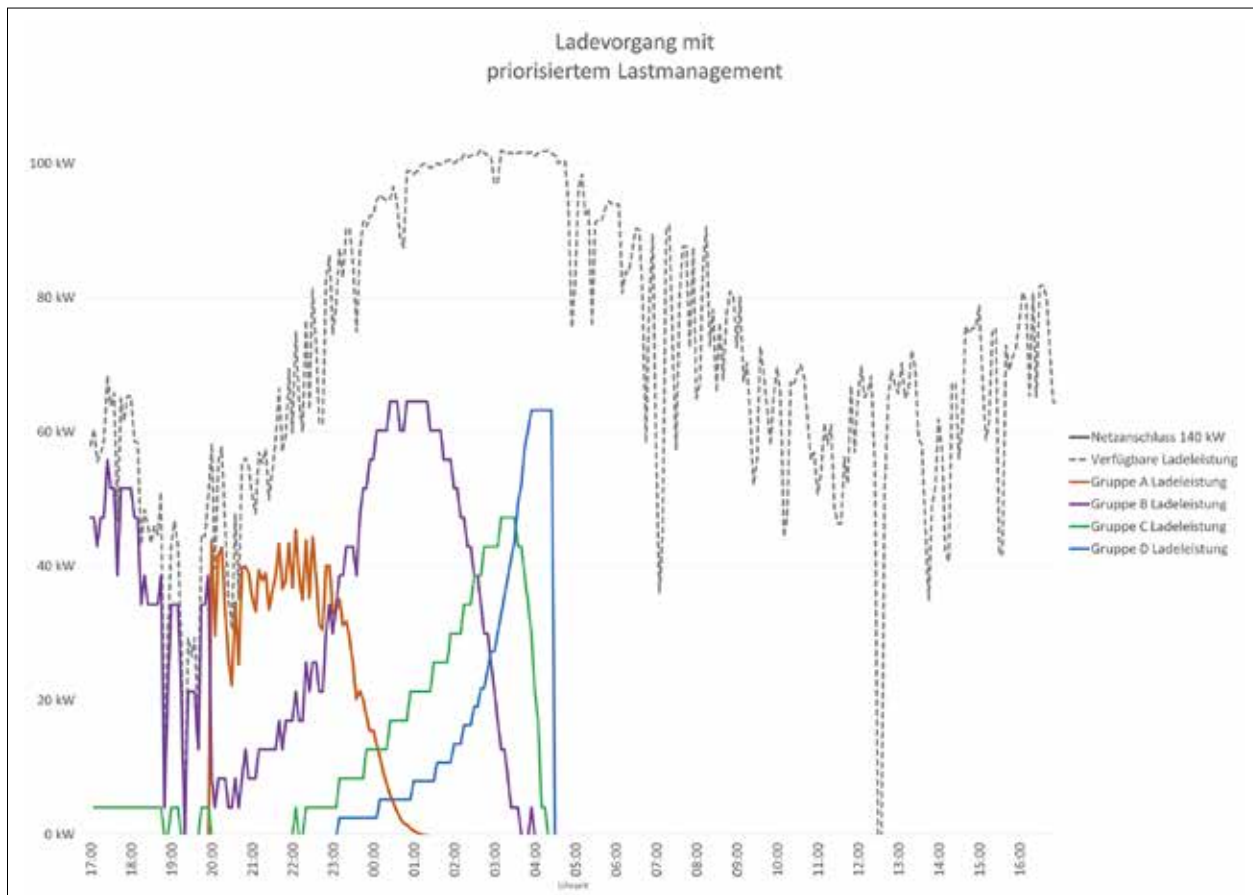


Bild 2. Ladevorgang für die Fahrzeuggruppen A bis D

## Mobilität

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 Modell 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 Laderegulierung 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 Netzanschlussverstärkung mit einem 20000-V-Mittelspannungstransformator waren

Gruppe	Energiemenge	Ladebedarf einsch. 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.<sup>1)</sup> 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](http://www.49grad-mainz.de).
- [2] [www.heiligkreuz-viertel.de/wohnen/baugruppen](http://www.heiligkreuz-viertel.de/wohnen/baugruppen).
- [3] Köpfer, B.: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Lastprofilgenerator »synPRO«, [www.elink.tools/elink-tools/synpro](http://www.elink.tools/elink-tools/synpro).
- [4] Wörner, P.: Dissertation (2020), [www.researchgate.net/publication/347557412\\_Einfluss\\_des\\_Nutzerverhaltens\\_auf\\_](http://www.researchgate.net/publication/347557412_Einfluss_des_Nutzerverhaltens_auf_)

[den\\_Stromverbrauch\\_in\\_Wohngebäuden\\_-\\_Entwicklung\\_eines\\_komplexen\\_Simulationsmodells\\_fur\\_energetische\\_Analysen](#).

- 5] Maulhardt, J.: Beraterin für Elektromobilität (HWK), [www.beratung-fuer-elektromobilitaet.de](http://www.beratung-fuer-elektromobilitaet.de).
- [6] [www.netze-bw.de/unsernetz/netzinnovationen/netzintegration-elektromobilitaet/e-mobility-carre](http://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/ErwerbsbeteiligungBevoelkerung.html](http://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Arbeitsmarkt/Erwerbstaetige/ErwerbsbeteiligungBevoelkerung.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/4zTaEyg7A](https://youtu.be/4zTaEyg7A).
- [9] [www.stromtankstellen.eu/elektroauto-laden-schuko-steckdose.html](http://www.stromtankstellen.eu/elektroauto-laden-schuko-steckdose.html).
- [10] [www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/elektromobilitaet/wallbox-lastmanagement](http://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/elektromobilitaet/wallbox-lastmanagement), Stand: 06.10.2020.
- [11] Ladesysteme Marktübersicht 2021: [www.nivos.com/imz-489mr-7mfr7w7n-5ioc9k-hu-j14](http://www.nivos.com/imz-489mr-7mfr7w7n-5ioc9k-hu-j14), Stand: 12/2021.

[energie@gruenert-mz.de](mailto:energie@gruenert-mz.de)

[www.49grad-mainz.de](http://www.49grad-mainz.de)