

## Elektromobilität in Wohnanlagen

### Lastspitzen und Energiemenge

### Beherrschbar oder Blackout?

Dipl. Ing. Thomas Klug – EAutoLader GmbH

***Elektromobilität ist das Zukunftsthema. Für die Wohnungswirtschaft wird darum die Bereitstellung von Stellplätzen mit Ladestationen in Wohnanlagen zu einer zentralen Aufgabe werden. Noch gibt es Wissenslücken um Energiebedarf und Lastverteilung. Unser Whitepaper zeigt in detaillierten Aufschlüsselungen: Für den täglichen Pendlerverkehr ist schon jetzt in Mehrfamilienhäusern ausreichend Energie für das Laden vorhanden. Sie muss nur intelligent gesteuert werden.***

#### Strommenge absolut

Im Jahr 2016 wurden in Deutschland 649 Terawattstunden Strom produziert<sup>1</sup>. Der jährliche Nettostromverbrauch lag bei 525 Terawattstunden<sup>2</sup>. Das heißt, es gab eine Stromüberproduktion von 124 Terawattstunden<sup>3</sup>. Wenn wir von den in Deutschland 2016 gefahrenen 14.015 Kilometern PKW-Jahresleistung ausgehen, so errechnen wir bei einem durchschnittlichen Verbrauch eines Elektroautos von 18,3 Kilowattstunden pro 100 Kilometer<sup>4</sup> einen Jahresgesamtstrombedarf von 2.748 Kilowattstunden pro Fahrzeug. Das heißt: Allein mit der Stromüberproduktion aus dem Jahr 2016 könnten wir circa 45,1 Millionen Elektroautos betreiben. Eine erstaunliche Zahl, bedenkt man, dass in Deutschland Stand Januar 2018 insgesamt 46,5 Millionen PKW zugelassen waren<sup>5</sup>. Die Umstellung der deutschen Mobilität auf elektrische Antriebe kann somit im PKW-Segment fast ausschließlich durch die deutsche Stromüberproduktion abgedeckt werden. Dabei verursachen PKW in Deutschland 86,2 Prozent<sup>6</sup> des Verkehrsaufkommens. Der Rest ist überwiegend LKW-Verkehr.

Bereits heute reicht die deutsche Stromproduktion aus, um den überwiegenden Teil des Verkehrsaufkommens elektrisch durchführen zu können. Jedoch muss die eventuelle zeitliche Differenz zwischen Erzeugung und Verbrauch über entsprechende Speicherlösungen abgepuffert werden. Hier können in Zukunft Elektroautos als Batteriespeicher netzdienlich sein (V2G<sup>7</sup>).

Wie die Situation in einzelnen Wohnanlagen aussieht, darüber geben der Stromverbrauch in Haushalten sowie die Analyse des Pendlerverhaltens im Berufsverkehr Aufschluss.

#### Allgemeiner Stromverbrauch im Haushalt

Der Strombedarf eines Haushaltes schwankt sehr, ist aber bei einer größeren Anzahl an Haushalten im Mittel recht ähnlich. Man kann die sich über den Tag ergebende Lastkurve mit einem Standardlastprofil<sup>8</sup> annähern. Diese Lastkurve existiert jeweils für Werktage, Samstage und Sonn- und Feiertage in der Winter-, Sommer- und Übergangszeit. Der Vergleich der Kurven zeigt: Der Spitzenverbrauch eines Haushalts liegt im Sommer – und zwar an einem Sonntagmittag (relativer Wert: 0,2157).

Für ein gesamtes Wohngebäude ergibt sich der maximale Leistungsbedarf aus der DIN 18015-1<sup>9</sup>. Hieraus resultiert dann die Bemessung der Hauptleitungen.

#### Beispiel:

Für ein Wohngebäude mit 100 Wohneinheiten ermittelt sich aus der DIN ein maximal anzusetzender Strombedarf von 155,9 A.

Hieraus ergibt sich für die drei Phasen der Hauszuleitung jeweils eine 160 Amperesicherung.

Für das Gebäude kann somit ein maximaler Stromverbrauch von 110 Killowatt angesetzt werden. Dieser Wert kann als untere Grenze für Gebäude angenommen werden, die nach obenstehender Norm ausgelegt wurden. Im ungünstigsten Fall (keine Reserven) entspricht dieser Wert dem Maximalwert des Standardlastprofils (Sommersonntag-mittag). In diesem Beispiel gilt somit:  
110 kW = 0,2157

Die real gemessenen Werte lagen sogar deutlich unter der Standardlastkurve (graue Linie in Abbildung 1).

### Stromverbrauch für die Ladeinfrastruktur

Um den Stromverbrauch für die tägliche Ladeenergie in einem Mehrfamilienhaus zu analysieren, setzt man den werktäglichen Verbrauch für den Berufsverkehr an. Dafür nutzt man die Pendlerstatistik<sup>10</sup>. Den Energiebedarf, der für allgemeine tägliche Fahrten erforderlich ist, kann man dabei vernachlässigen<sup>11</sup>, denn der kann über den Tag verteilt gedeckt werden und ist unkritisch für die Maximallastbetrachtung.

Berufspendler bewegen sich wie folgt vor:

PKW: 52,4%  
ÖPNV: 11,3%  
Rad / Fuß: 14,0%  
Rest: 22,3%

Folgende Entfernungen (einfache Distanz) werden täglich auf dem Arbeitsweg zurückgelegt:

Gleiches Grundstück	3,2%
unter 5 km	23,2%
5 – 10 km	16,5%
10 – 25 km	22,9%
25 – 50 km	10,9%
50 km und mehr	3,7%
wechselnd	2,6%
ohne Angabe	17,0%

Tabelle 1: prozentuale Verteilung der Entfernungen von Berufspendlern (einfache Distanz)

Setzt man konservativ einen durchschnittlichen Verbrauchswert eines Elektroautos von 20 Kilowattstunden auf 100 Kilometer an<sup>12</sup>, ergibt sich der Energiebedarf wie folgt:

bis 4 kWh	42,9%
4 bis 10 kWh	22,9%
10 bis 20 kWh	10,9%
ca. 40 kWh	6,3%
ohne Angabe (20 kWh) <sup>13</sup>	17,0%

Tabelle 2: Lastbedarf der PKW-Pendler

Warum ist diese Detaillierung so wichtig für E-Mobilität in Wohnanlagen? Um täglich die gleiche Strecke zurücklegen zu können, definiert der Anteil der PKW-Pendler mit ihrem jeweiligen Energiebedarf den allabendlichen Ladebedarf.

Aus der Tabelle 2 ergibt sich ein mittlerer täglicher Ladebedarf pro Fahrzeug von 12,1 Kilowattstunden.

Die durchschnittliche jährliche Energiemenge für ein Elektroauto beträgt wie auf Seite 1 berechnet, circa 2.750 Kilowattstunden. Hieraus ergibt sich ein durchschnittlicher täglicher Ladebedarf von nur 7,53 Kilowattstunden.

Diese Berechnung kann folglich als konservativ betrachtet werden.

Für das Beispiel ergeben sich folgende Werte:

Für 100 Wohneinheiten gibt es eine Tiefgarage mit 100 Stellplätzen. Im kritischen Fall sind alle Bewohner berufstätig und die Quote der Elektroautos beträgt zukünftig 100 Prozent. Somit werden jede Nacht die 53 Fahrzeuge der PKW-Pendler geladen. Aus Tabelle 2 ergeben sich folgende Energiemengen:

23 PKW mit je 4 kWh = 92 kWh  
12 PKW mit je 10 kWh = 120 kWh  
6 PKW mit je 20 kWh = 120 kWh  
3 PKW mit je 40 kWh = 120 kWh  
9 PKW mit je 20 kWh = 180 kWh  
**Summe: 632 kWh**

### Lastreserven des Stromanschlusses

Wenn man das werktägliche Standardlastprofil betrachtet (graue Balken in Abbildung 1), ergibt sich auf Basis von Viertelstundenwerten eine Differenz zwischen dem aktuellen Verbrauch eines Hauses und der vorhandenen Anschlussleistung. Um 19:45 Uhr beträgt der normierte Wert zum Beispiel 0,1726. Der absolute Maximalwert liegt an einem Sommersonntagmittag bei 0,2157. Somit besteht um 19:45 Uhr eine Reserve von 20 Prozent. Mit der Summierung der Lastreserven, beginnend am Abend bis zum nächsten Morgen (blauer Bereich in Abbildung 1), ergibt sich der ausschöpfbare Energiebedarf, der zur Ladung der Elektroautos zur Verfügung steht, ohne dass der Anschlusswert überschritten wird.

Im schlechtesten Fall beginnen in der Tiefgarage die Ladevorgänge erst um 17:00 Uhr. Die ersten Autos verlassen bereits um 7:00 Uhr das Gebäude. Somit stehen nur 14 Stunden Ladezeit zur Verfügung. In Abbildung 1 ist die Differenz (blau) zwischen aktuellem Verbrauch des Hauses (grau) und Anschlusswert in Viertelstundenwerten dargestellt. Hieraus ergibt sich für diesen Zeitraum eine aufsummierte nutzbare Energiemenge von 748,7 kWh.

### Lastspitzen

In der Abbildung 1 sieht man, dass insbesondere in der Zeit zwischen 17:30 Uhr und 23:00 Uhr eine Lastspitze besteht, die das Laden der Elektroautos einschränkt. Die maximale Leistung, die für das Laden zu Verfügung steht, beträgt dann teilweise nur noch 20 Prozent des Hausanschlusswertes. Ein gleichzeitiges Laden aller Elektroautos ist zu diesem Zeitpunkt nicht möglich.

Um 19:45 Uhr stehen in der Tiefgarage nur 24,31 Kilowatt zur Verfügung, d.h. es können nur 2 Autos mit 11 Kilowatt oder 9 Fahrzeuge (= 9%) mit 2,7 Kilowatt (Schuko-Steckdose) gleichzeitig laden.

### Lastverteilung

Ab einer gewissen Anzahl an Elektroautos müssen die jeweiligen Ladezeiten

also durch geeignete Maßnahmen so verschoben werden, dass sich diese über die Nacht entsprechend verteilen. Dies sollte idealerweise durch ein automatisiertes Lastmanagement erfolgen, das kontinuierlich die freien Lastreserven mit Ladevorgängen nutzt. Diese Laderegulation sollte bereits zu Beginn der Installation der Ladeinfrastruktur mit den Nutzern vereinbart werden, damit sowohl für die frühen als auch die späten Nutzer gleiche Regeln gelten.

Für das Laden der Elektroautos in einer Tiefgarage, stehen in der Nacht 748,7 Kilowattstunden zur Verfügung. Der nächtliche Ladebedarf liegt jedoch nur bei 632 Kilowattstunden. Somit besteht eine Reserve von 116,7 kWh (=15,6%).

### Sonderfälle

Denkbar ist es, dass an Sonn- und Feiertagen der Gesamtenergieverbrauch der Elektroautos höher ist als unter der Woche. Häufig werden an diesen Tagen weitere Distanzen gefahren. Die Konsequenz: Der Ladebedarf aller Elektroautos in einer Wohnanlage ist dann höher als an einem Werktag. Darauf kann man reagieren, indem die Fahrzeuge nur die Energiemenge nachladen, die sie am Folgetag für ihren Arbeitsweg benötigen. Keine Sorge: Die Energiemenge eines Hauses wird erst dann eventuell nicht ausreichen, wenn beispielsweise an einem Samstagabend die meisten Autos leer in die Garage gefahren werden und am nächsten Tag gleich in der Früh wieder geladen die Wohnanlage verlassen. In solch einem Ausnahmefall müsste teilweise auf die öffentliche Ladeinfrastruktur ausgewichen werden.

### Fazit

Die Gesamtenergiemenge in Deutschland reicht bereits heute fast aus, um alle Autos elektrisch antreiben zu können. Konservativ geschätzt reicht die nächtliche Ladezeit aus, um allen Pendlern ausreichend Energie zur Verfügung zu stellen.

Die Ladezeiten sollten spätestens ab einer Elektroautoquote von 9%<sup>14</sup> der

Stellplätze über ein Lastmanagement geregelt werden, um eine Überlastung des Hausanschlusses zu den Spitzenlastzeiten zu vermeiden.

Für den Mobilitätswandel ist das Laden von Elektroautos am Wohnort essentiell, da die öffentliche Infrastruktur nicht dafür ausgelegt sein wird, den täglichen Ladebedarf zur Verfügung zu stellen. In Ein- und Zweifamilienhäusern ist das unkritisch. Aber auch in Mehrfamilien-

häusern steht ausreichend Energie für die Ladevorgänge zur Verfügung. Diese müssen lediglich intelligent gesteuert werden. Eine teure Verstärkung des Stromnetzes ist dann nicht erforderlich.

Kontakt:  
Dipl. Ing. Thomas Klug  
EAutoLader GmbH  
[tk@eautolader.de](mailto:tk@eautolader.de)  
[www.eautolader.net](http://www.eautolader.net)

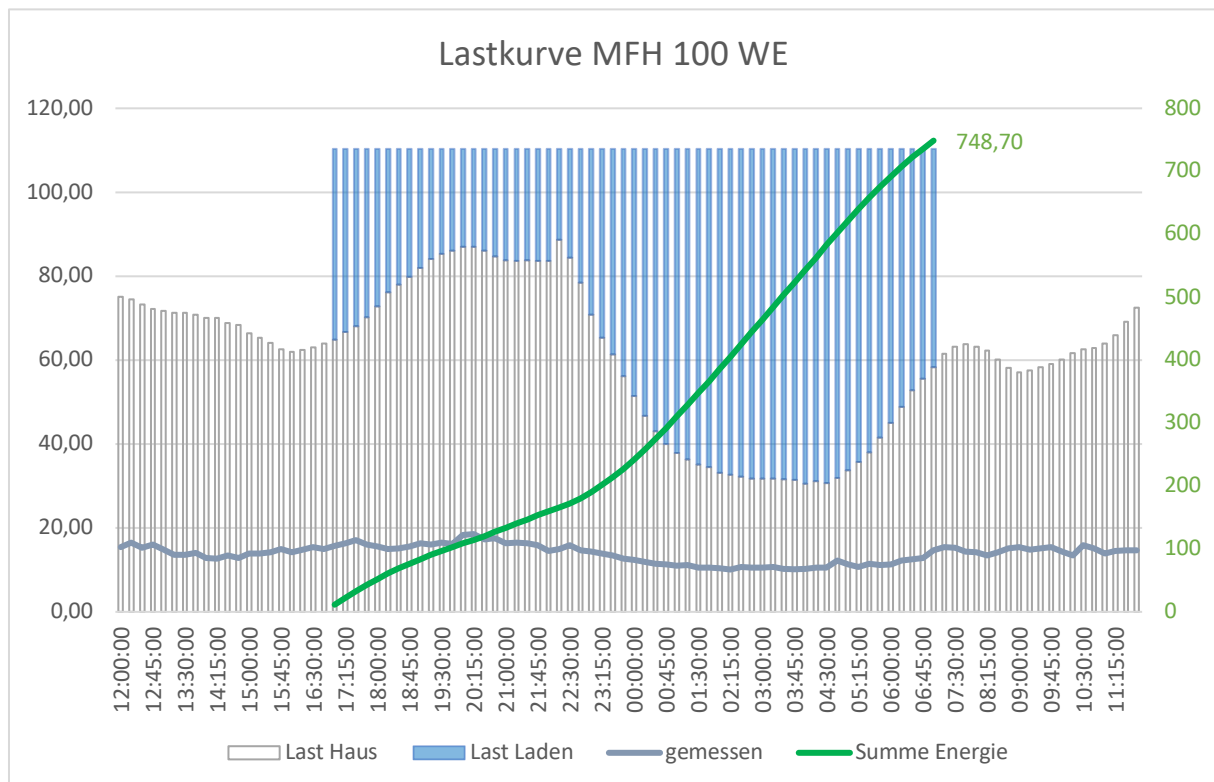


Abbildung 1: Lastkurve und Differenz zur maximalen Anschlussleistung

<sup>1</sup> <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/164149/umfrage/netto-stromverbrauch-in-deutschland-seit-1999/>

<sup>2</sup> <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/Energie/Erzeugung/Tabellen/Bruttostromerzeugung.html>

<sup>3</sup> 1 Terawattstunde (TWh) = 1.000 Gigawattstunde (GWh) = 1.000.000 Megawattstunde (MWh)

<sup>4</sup> <https://www.heise.de/newsticker/meldung/E-Autos-verbrauchen-viel-mehr-Strom-als-angegeben-3081667.html>

<sup>5</sup> [https://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/Verkehr/Kilometer/verkehr\\_in\\_kilometern\\_node.html](https://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/Verkehr/Kilometer/verkehr_in_kilometern_node.html)

<sup>6</sup> [https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/bestand\\_node.html](https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/bestand_node.html)

<sup>7</sup> Vehicle to Grid - [https://de.wikipedia.org/wiki/Vehicle\\_to\\_Grid](https://de.wikipedia.org/wiki/Vehicle_to_Grid)

<sup>8</sup> <https://de.wikipedia.org/wiki/Standardlastprofil> (hier: Typ H0 = Haushalte)

<sup>9</sup> <https://www.beuth.de/de/norm/din-18015-1/188911627> Ausgabe 2013 (Erstausgabe bereits im Mai 1955)

<sup>10</sup> <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Arbeitsmarkt/Erwerbstaetige/Erwerbsbeteiligung/Bevoelkung.html>

<sup>11</sup> Die zur Verfügung stehende Energie zwischen 7:00 Uhr und 17:00 Uhr beträgt in dem Beispiel 438,7 kWh, hieraus ergibt sich für die verbleibenden 47 Fahrzeuge ein mittlere, zur Verfügung stehende Reichweite von 46km.

<sup>12</sup> Hier gibt es aktuell viele unterschiedliche Angaben, die zw. 12 und 25kWh 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. (<https://youtu.be/4zTaEytqf7A>)

<sup>13</sup> Auf der sicheren Seite wird hier jeweils die maximalen Werte angesetzt, für die Pendler die keine Angaben gemacht haben, gehen wir von einem Ladebedarf von 20 kWh aus, dies entspricht ca. 50 km.

<sup>14</sup> Unter 9% ist ein gleichzeitiges Laden mit reduzierter Ladegeschwindigkeit (2,7 kW) auch zu Zeiten der Lastspitzen möglich. Sollen jedoch die Autos in der Regel mit den idealen 11 kW laden, ist ein Lastmanagement bereits ab 2% Elektroauto-Quote notwendig.