

LADEBEDARF EINES WOHN- GEBÄUDE-WAGENPARKS

E-MOBILITÄT OHNE NETZVERSTÄRKUNG



Foto: C. Grüner

Bild 1: Baugemeinschaft 49°Nord – rundum bunt, Mainz

Simulationen zeigen, dass sich der Ladestrom eines komplett elektrifizierten Wohngebäudewagenparks durch den nur für den Haushaltsstrom dimensionierten Netzanschluss bewerkstelligen lässt. Eine Verstärkung des Netzanschlusses des Wohngebäudes ist nicht erforderlich. Die Analyse des Lastgangs des Haushaltsstroms und des Ladestrombedarfs eines konkreten Bauprojekts liefert Erkenntnisse, die auch auf andere Wohngebäude angewendet werden können.

Mehrgenerationen-Wohnprojekt

Das Bau- und Wohnprojekt *49°Nord – rundum bunt*¹⁾ startete im März 2018. Nun, fast vier Jahre später, bauen sie mit zwei weiteren Baugruppen einen Gebäudekomplex mit 70 Wohneinheiten. Zum Bauprojekt gehört auch eine gemeinsame, für Elektroladestationen vorgerüstete Tiefgarage mit 53 PKW-Stellplätzen²⁾. Drei Stellplätze davon sind für Carsharing-Fahrzeuge reserviert.

Das Ausmaß des ursprünglich für das Bauvorhaben berechneten Gesamtstromanschlusses war so groß, dass ein 20.000-Volt-Mittelspannungstrafo mitten im Gebäude notwendig erschien.

Netzanschluss für Elektromobilität

Basierend etwa auf Angaben der Verbraucherzentrale³⁾ oder der KfW, erschien den Projektierern als allgemein bekannt, dass eine hohe Ladeleistung die Voraussetzung für den Umstieg zur Elektromobilität sei. Die geplanten 53 Stellplätze des Wohnprojekts sollten mit Ladesäulen mit einer Ladeleistung von 11 kW bis 22 kW ausgestattet werden, und die Carsharing-Plätze eine Schnellladekapazität von möglichst 70 kW erreichen. Der berechnete Anteil der Kfz-Elektromobilität am Netzanschluss unter Berücksichtigung von Gleichzeitigkeitsfaktoren umfasste insgesamt ca. 150 kW.

Um einen Trafo im Wohngebäude zu vermeiden, war es erforderlich mit der vom Netzbetreiber angebotenen Gesamtanschlussleistung von 250 kW zurechtzukommen. Davon waren die Baugemeinschaften sehr weit entfernt.

Ladeinfrastruktur ohne zusätzlichen Stromanschluss?

Aufgrund dieser Ausgangssituation stellte sich die Frage, ob mit dem Netzanschluss für den Haushaltsstrom von 70 Wohneinheiten – davon 16 mit elektri-

scher Warmwasserbereitung – gleichzeitig auch 53 Stellplätze – davon drei für Carsharing – betrieben werden?

Mit der erwähnten Gesamtanschlussleistung von 250 kW müssen ebenso sowohl die Haustechnik als auch eine geplante große Photovoltaik-Anlage – mit elektrischem Speicher – betrieben werden.

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

Tabelle 1: Hausanschlusswerte laut DIN 18015

	Simulation synPRO		Simulation Wörner	
	Lastgang mit maximaler Tagesleistung	Lastgang mit maximalem Tagesverbrauch	Lastgang mit maximaler Tagesleistung	Lastgang mit maximalem Tagesverbrauch
Tages-Lastgang-Bezeichnung	1_maxP_05	1_maxW_05	2_maxP_05	2_maxW_05
Tagesmittelwert	33 kW	35 kW	28 kW	30 kW
Tagesmaximum	119 kW	85 kW	126 kW	105 kW
Tagesminimum	12 kW	12 kW	7 kW	7 kW
Jahresverbrauch	269.000 kWh		194.000 kWh	
Jahresverbrauch pro WE*	3.400 kWh		2.500 kWh	

Tabelle 2: Tageslastgänge für 70 WE, davon 16 WW, mit jeweils höchstem Tagesverbrauch und höchster Spitzenlast

(* Bei der Normierung pro Wohneinheit wurde berücksichtigt, dass ein Haushalt einen etwa 40% höheren Verbrauch zeigt, wenn Warmwasser mit Strom erhitzt wird. Wir wählten $54 + 16 \times 140\% = 76$ Wohneinheiten ohne elektrische WW-Bereitung)

Ein Energiemanagement könnte das Dilemma lösen, wobei der Haushaltsstrom dabei Priorität haben muss. Nur der für den Haushaltsstrom nicht benötigte Anteil des Netzanschlusses darf als Ladestrom zur Verfügung gestellt werden. Bisher wird Energiemanagement typischerweise für die bevorzugte Nutzung von Photovoltaik-Strom eingesetzt. Der Schwerpunkt der Fragestellung der Gruppe war: Lassen sich die Lastgangkurven von Haushaltsstrom und die Lastgangkurven von E-Autos so aufeinander abstimmen, dass der gewünschte Komfort ohne Stromnetzverstärkung erreicht werden kann? Der erste Schritt zur Beantwortung der Frage war, den Haushaltsstrom eines 70-Parteien-Wohngebäudes zu ermitteln.

Stromanschluss eines Wohngebäudes

Der Netzanschluss eines Mehrfamilienhauses muss den maximalen aktuellen Strombedarf der Haushalte abdecken können. Da dieser selten zur selben Zeit besteht – es liegt somit eine geringe Gleichzeitigkeit vor – ist er keinesfalls

proportional zur Anzahl der Wohneinheiten. Außerdem benötigen Wohngebäude mit elektrischer Warmwasserbereitung in etwa einen doppelten Hausanschlusswert als diejenigen ohne elektrische Warmwasserbereitung. Einige normative Anschlusswerte der DIN 18015 („Elektrische Anlagen in Wohngebäuden“) sind in Tabelle 1 angegeben:

Von den insgesamt 70 Wohneinheiten des Wohnprojekts, nutzen 16 Wohnungen elektronische Komfort-Durchlauferhitzer für die Warmwasserbereitung. Für die Studie wurden insgesamt 140 kW als Stromanschluss für den Haushaltsstrom angenommen.

Simulation des Haushaltsstrom-Lastgangs

Für die Konstellation als Mehrfamilienhaus erhielt die Baugruppe Simulationsdaten von verschiedenen Quellen: »synPRO« des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE⁴⁾, sowie Dr. Patrick Wörner vom Institut für Massivbau/ TU Darmstadt⁵⁾. 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. Zur weiteren Betrachtung wurden anstelle von kompletten Jahresverläufen nur die „Worst Case“-Tage herausgefiltert – mit dem jeweils höchsten Gesamtstromverbrauch und höchsten Spitzenstromverbrauch aus den Jahresdaten. Dabei zeigten diese Lastgänge die in Tabelle 2 aufgeführten Kennwerte.

Die Simulationsdaten passen gut zu den Verbrauchsstatistiken des „Stromspiegel“⁶⁾ für einen 3-Personen-Haushalt, der zwischen 1.800 kWh/Jahr und 3.300 kWh/Jahr bei einem Mittelwert von 3.000 kWh/Jahr angibt. Beide zeigen Spitzenlasten von ca. 120 kW bei einer 5-Minuten-Auflösung. Diese Werte passen sehr gut zu dem oben berechneten Netzanschluss von 140 kW.

Im Sinne eines konservativen Ansatzes haben wir für die weiteren Betrachtungen die Überlagerung der vier „Worst-Case“-Tageslastgänge aus Tabelle 2 ermittelt. Für jede Uhrzeit wurde das Maximum der vier Kurven gewählt. Das Ergebnis kombiniert also höchste Lastspitzen mit höchstem Tagesgesamtverbrauch in

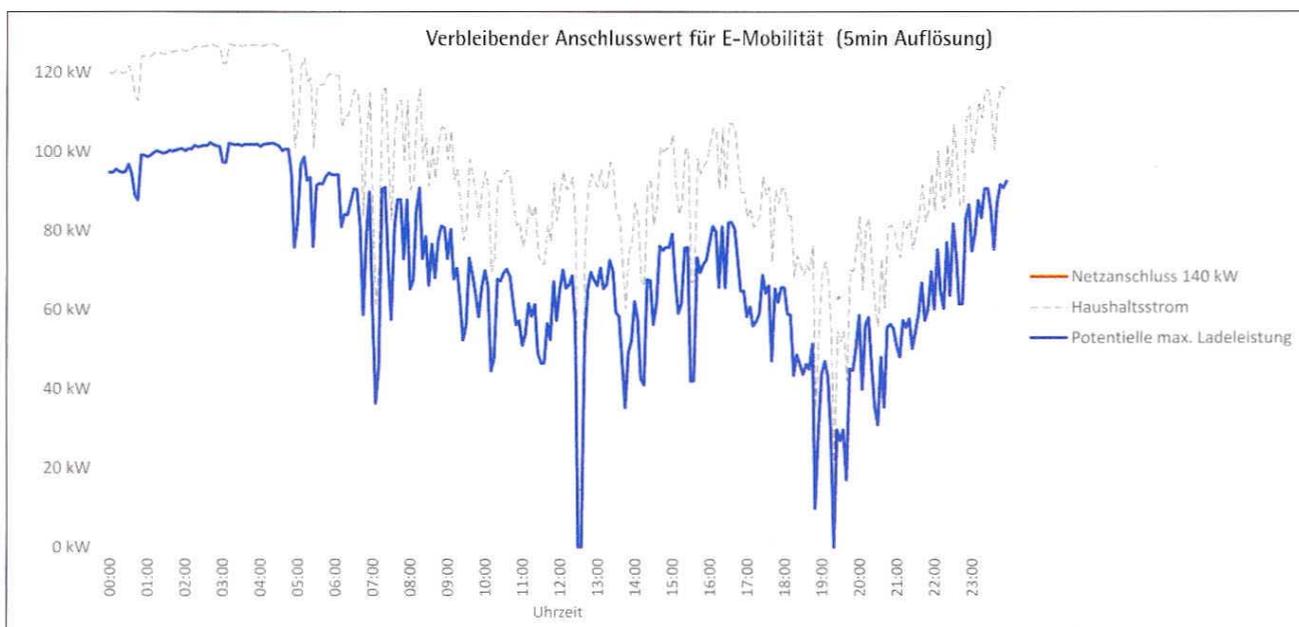


Bild 2: Maximal verfügbare Ladeleistung mit 25 kW Puffer bis zum Netzanschluss 140 kW

einem neuen Tages-Lastgang, der in keinem Simulationsmodell so erscheint.

Bild 2 zeigt die verbleibende verfügbare Ladeleistung für jede Uhrzeit an einem „Worst-Case“-Lastgang. Ein Puffer von 25 kW, zusätzlich zum Haushaltsstrom, soll eine „versehentliche“ kurzfristige Überlastung verhindern.

Ladebedarf eines Wohngebäude-Wagenparks

Julia Maulhardt⁷⁾, eine von der Baugruppe beauftragte Beraterin für Elektromobilität prüfte, ob sich der Wagenpark komfortabel mit diesem Strom elektrisch betreiben ließe. Sie wählte den konservativen Ansatz, dass alle Fahrzeuge den Strom zu 100 % über den Anschluss der Tiefgarage beziehen. In so einem Fall hätten die Fahrzeugnutzenden keine Möglichkeit, Fahrzeuge öffentlich oder etwa bei den Arbeitgebern zu laden. So eine Situation bildet nicht die heutige Realität ab. Denn die öffentliche Ladeinfrastruktur ist bereits sehr gut ausgebaut, wie ein Projekt der Netze BW zur Netzintegration von Elektromobilität in Mehrfamilienhäusern im Bestand gezeigt hat⁸⁾.

Zur Modellierung der täglichen Fahrstrecken unterscheidet Frau Maulhardt zwischen den Fahrprofilen von 50 Pendlerfahrzeugen und denen von drei Carsharing-Fahrzeugen. Für die Pendlerfahrzeuge nutzt sie die Erfassungen des Statistischen Bundesamts⁹⁾. Wir nehmen an, dass die Ladevorgänge erst um 17:00 Uhr beginnen und die ersten Autos bereits um 7:00 Uhr das Gebäude verlassen.

Für die Carsharing-PKW erwartet sie eine mittlere Fahrleistung von 200 km für jedes der drei Fahrzeuge. Deren Ladevorgänge sollten zwischen 20 Uhr und spätestens 7 Uhr erfolgen. Zu dem durchschnittlichen Verbrauchswert eines Elektroautos von 20 Kilowattstunden auf 100 Kilometer¹⁰⁾ 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 Tabelle 3 zeigt.

Ladekonzepte für den Wagenpark

Generell ist es für die Lebensdauer eines Fahrzeugakkus sehr vorteilhaft, wenn dieser möglichst langsam geladen werden kann. Allerdings müssen die technischen Gegebenheiten für das Laden der Fahrzeuge unter einer Dauerlast von 2,3 kW oder 3,6 kW mit gewöhnlicher Hauselektrik einige Sicherheitskriterien einhalten. Bei einem Neubau ist die Umsetzung des Langsamladens¹¹⁾ sehr viel besser und kostengünstiger einzuplanen als im Bestand.

Tagesfahrleistung	Anteil	Ladebedarf pro PKW	Anzahl PKW	Gesamtladebedarf
bis 20 km	43 %	4 kWh	23	92 kWh
bis 50 km	23 %	10 kWh	12	120 kWh
bis 100 km	11 %	20 kWh	6	120 kWh
ohne Angabe	17 %	20 kWh	9	180 kWh
ca. 200 km	6 %	40 kWh	3	120 kWh
Wagenpark	100 %		53	632 kWh
Ladeverlust	20 %			126 kWh
benötigte Gesamt-Ladeenergie			53	758 kWh

Tabelle 3: Täglicher Ladeenergiebedarf

Die Baugemeinschaft hat den Wagenpark in Abhängigkeit vom Ladebedarf in vier Gruppen eingeteilt und die Ladezeiten in Abhängigkeit der verwendeten Ladeleistung in Tabelle 4 dargestellt.

Zwischenfazit: niedrige Ladeleistung reicht

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.

Ladeszenario mit Lastenmanagement

Für die Simulation wurde ein Lastmanagement-Algorithmus verwendet, der Autos mit hohem Ladebedarf stark bevorzugt. Die den Gruppen zugewiesenen Prioritätsfaktoren sind:

- Gruppe A: Prio 100
- Gruppe B: Prio 15
- Gruppe C: Prio 5
- Gruppe D: Prio 2

Die Fahrzeuge der Gruppen B bis D werden mit ihrer definierten Leistung geladen (B oder C: 3,6kW; D: 2,3 kW). Nur die Gruppe-A-Fahrzeuge werden immer alle gleichzeitig mit der zur Verfügung stehenden variablen Leistung bis 22 kW geladen.

Die jeweils zur Verfügung stehende Ladeleistung wird auf die vier Gruppen aufgeteilt. Der Algorithmus bestimmt für jede Gruppe den momentanen Gesamtbedarf der Ladeenergie und setzt ihn in das Verhältnis des mit dem Prioritätsfaktor gewichteten momentanen Ladebedarfs des gesamten Wagenparks. Im Laufe der Ladezeit reduziert sich der Ladebedarf. Durch die Priorisierung ändern sich entsprechend die Lastverhältnisse zwischen den Gruppen.

Bild 3 veranschaulicht die Zuteilung des Ladestroms auf die vier Fahrzeuggruppen, beginnend um 17 Uhr.

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. Ein von 12 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 die Ladung 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 vollständig geladen.

Gruppe	Ladebedarf inkl. 20% Verlust	Anzahl PKW	Anteil	Ladezeit bei 2,3 kW	Ladezeit bei 3,6 kW	Ladezeit bei 11 kW	Ladezeit bei 22 kW
A	48,0 kWh	3	6 %		13,3 h	4,4 h	2,2 h
B	24,0 kWh	15	28 %		6,7 h	2,2 h	
C	12,0 kWh	12	23 %	5,2 h	3,3 h		
D	4,8 kWh	23	43 %	2,1 h	1,3 h		

Tabelle 4: Ladezeiten pro Fahrzeuggruppe

Fazit

Das Ladeergebnis, das hier simuliert wurde, sollte für alle Nutzer komfortabel sein. Denn Fahrzeuge mit großer Kilometerleistung sind zuerst wieder voll verfügbar, und lange vor Ablauf der typischen Nachtruhe wird der Ladevorgang für alle Fahrzeuge beendet.

Der potentielle Wagenpark von 53 Fahrzeugen kann folglich sehr komfortabel mit Strom des Gebäudes mit 70-Wohneinheiten versorgt werden, der gerade nicht gebraucht wird. Eine Netzanschluss-Verstärkung mit einem 20.000 Volt-Mittelspannungstrafo konnte somit für das Projekt verworfen werden.

Das heutige Angebot von Lademanagementsystemen in Deutschland^{12), 13)} ist noch überschaubar und entsprechend des Bedarf noch am Entwicklungsbeginn. Die genannten notwendigen technischen Anforderungen für die erste Ausbaustufe der Elektrifizierung können jedoch bereits erfüllt werden. Deshalb ist das Wohnprojekt für die Baugruppe in Bezug auf Elektromobilität zukunftsfähig!

E-Mobilität in Mehrfamilienhäusern

Die gezeigten Daten wurden für das Wohnprojekt zusammengestellt. Sind die Schlussfolgerungen aber auch auf andere Wohngebäude anwendbar?

Anzahl der Wohneinheiten

Die Anschlussleistung steigt deutlich unterproportional zur Anzahl der Wohneinheiten (siehe Tabelle 1). Die Energie-

menge des Haushaltsstroms ist jedoch proportional zur Anzahl der Wohneinheiten (siehe ⁶⁾ Stromspiegel). Der Netzanschluss von kleineren Wohngebäuden bietet daher eine deutlich größere Energiereserve für das Laden von Fahrzeugen.

Das hier gezeigte Konzept ist auch auf kleine Gebäude anwendbar. Schon bei fünf Wohneinheiten ist der Netzanschluss mit ca. 40 kW hoch genug für komfortablen Ladestrom.

Typ der Wohngebäude

Die Norm sieht etwa eine doppelte Anschlussleistung für Gebäude mit elektrischer Warmwasserbereitung vor. Dagegen haben solche Haushalte nur etwa einen 40 Prozent höheren Energiebedarf. Der Netzanschluss von Wohngebäuden mit elektrischer Warmwasserbereitung bietet also eine deutlich größere Energiereserve für das Laden von Fahrzeugen.

Reserven und Puffer

Für alle Parameter wurden äußerst konservative Annahmen getroffen, die in diesem Ausmaß meistens kaum eintreffen werden. Daher ist die Baugruppe zuversichtlich, dass für die Wagenparks von Wohngebäuden immer eine komfortable Ladelösung ohne Netzverstärkung gefunden wird.

Fußnoten

- 1) <https://49grad-mainz.de/>
- 2) www.heiligkreuz-viertel.de/wohnen/baugruppen/
- 3) www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/, Stand: 04/2020

- 4) Dr. Benedikt Köpfer, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Lastprofilgenerator »synPRO«
- 5) Dissertation von Dr. Patrick Wörner (2020): Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Stromverbrauch in Wohngebäuden
- 6) www.stromspiegel.de, Stand: 03/2021
- 7) Julia Maulhardt, Beraterin für Elektromobilität (HWK) www.beratung-fuer-elektromobilitaet.de
- 8) www.netze-bw.de/unsernetz/netzinnovationen/netzintegration-elektromobilitaet/e-mobility-carre Stand: 09/2021
- 9) Statistisches Bundesamt: Pendler Berufliche Wege
- 10) Hier gibt es aktuell viele unterschiedliche Angaben, die zw. 12 und 25 kWh schwanken. Bei Testfahrten von unterschiedlichen Elektroautos mit konstant 130 km/h lagen die meisten unter 20 kWh/100 km im Frühjahr, also ohne Heizung und ohne Klima. (Horst Lünig)
- 11) www.stromtankstellen.eu/
- 12) www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/elektromobilitaet/wallbox-lastmanagement/ Stand: 10/2020
- 13) Power2Drive: Ladesysteme Marktübersicht 2021 12/2021

ZUM AUTOR:

► *Diplom-Physiker Dr. Michael Grünert*
energie@gruenert-mz.de

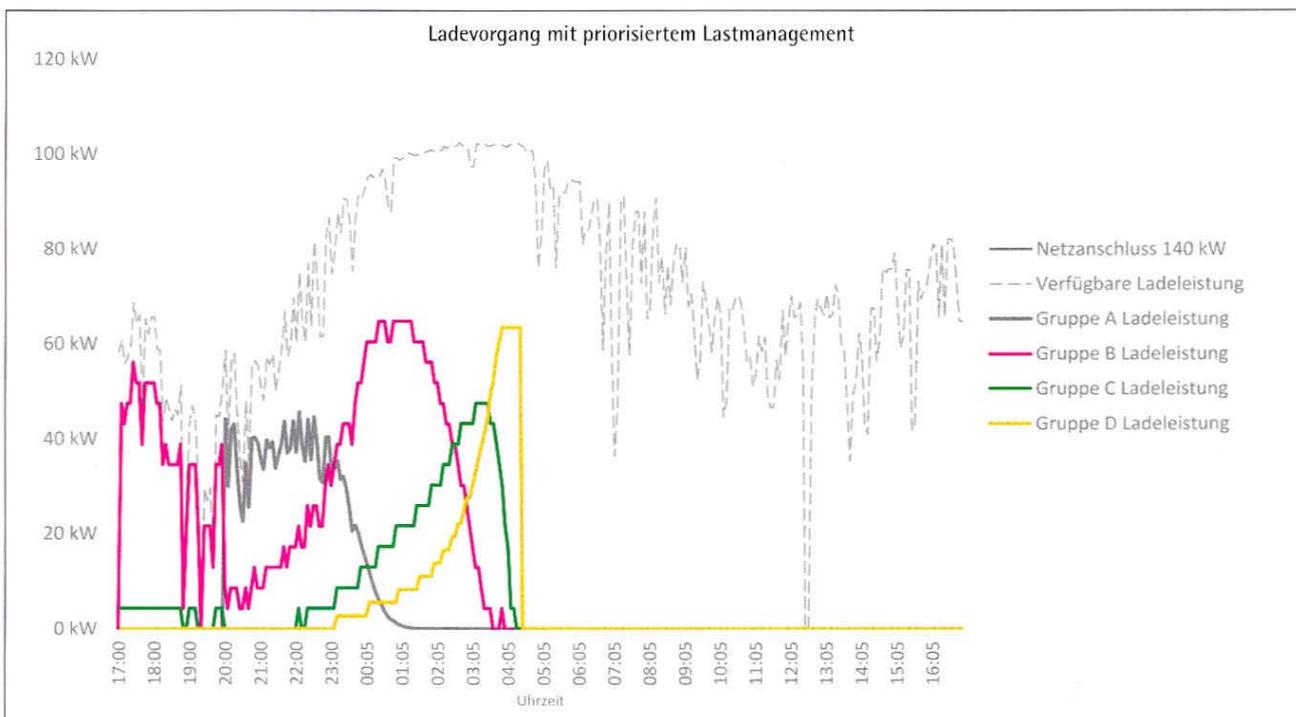


Bild 3: Ladevorgang für die Fahrzeuggruppen A bis D