

Leitfaden

Errichtung von Ladeinfrastruktur in Thüringer Behörden, Kommunen und kommunalen Verwaltungen

Inhalt

1	Vorhabenbeschreibung / Hintergrund	3
2	Bedarfserhebung Ladestrom und Ladezeiten	4
2.1	Flottenaufbau	4
2.1	Laufleistungen, Ladestrom und Ladezeiten	4
2.1.1	Ermittlung der täglichen Fahrzeuglaufleistungen	4
2.1.2	Ermittlung des täglichen Ladestroms	5
2.1.3	Ermittlung der Ladezeiten	6
2.1.4	Anzahl der Ladepunkte	6
2.1.5	Fazit Bedarf an Ladestrom	8
2.1.6	Beispielrechnung:	8
3	Ermittlung der erforderlichen Anschlussleistung für die Ladeinfrastruktur	12
3.1	Status quo- vorhandener Hausanschluss	12
3.2	Status quo- vorhandener Lastgang	13
3.3	Mögliche Lastreserve am Hausanschluss	14
3.4	Installation von Schnelladesäulen mit Ladeleistungen über 50 kW	14
3.4.1	Erweiterung des Netzanschlusses	15
3.4.2	Alternative Überlegungen zum Schnellladen	16
3.5	Einbindung einer PV- Anlage und Stromspeicher	18
3.6	Beispielrechnung	18
4	Energie-, Last- und Lademanagement	23
4.1.1	Energiemanagement	24
4.1.2	Lastmanagement	24
4.1.2.1	Statisches Lastmanagement	25
4.1.2.2	Dynamisches Lastmanagement	25
4.1.3	Lademanagement	26
4.2	Empfehlung zur Umsetzung von Ladeinfrastruktur	28
4.3	Beispielrechnung	28
5	Planung, Errichtung und Betrieb der Ladeinfrastruktur	29
5.1	Planung und Errichtung	29
5.1.1	Verkehrssichere und mechanisch geschützte Errichtung der Ladeinfrastruktur	29
5.2	Betrieb der Ladeinfrastruktur	30
5.2.1	Arbeits- und Personenschutz	30
5.2.2	Ladeauthentifizierung und Backend	30
5.2.3	Wartung und Service	31
6	Herausforderungen im Fuhrparkmanagement	32
7	Fördermittellandschaft	32
8	Anhang	34
9	Bearbeitung	35
10	Haftung	35

2 Bedarfserhebung Ladestrom und Ladezeiten

2.1 Flottenaufbau

Die elektrifizierte Fahrzeugflotte ist bestimmendes Element bei der Ermittlung des erforderlichen Ladestroms. Das Wissen über den Ladestrom wiederum versetzt die Institution in die Lage die erforderliche Ladetechnik und die sich daraus ergebenden Ladezeiten ableiten zu können.

Die Institution ermittelt für die Fahrzeugflotte die Anzahl der elektrifizierten Fahrzeuge, welche sowohl vorhanden als auch in den nächsten Jahren anzuschaffen sind. Für die Errichtung der Ladeinfrastruktur ist wichtig zu wissen, dass sowohl die Gesamtanzahl der Fahrzeuge, die Fahrzeugtypen als auch die täglichen Laufleistungen eine entscheidende Rolle spielen.

Für die Fuhrparkelektrifizierung ist die Größe der Batterie der zukünftigen beziehungsweise ggf. schon vorhandenen E-Fahrzeuge eine primäre Komponente. Die Erfassung der Fahrzeuge für den liegenschaftsspezifischen Fuhrpark kann innerhalb einer Tabelle, wie im Anhang Tabelle 7 ersichtlich aufgelistet und für die weiteren Berechnungen verwendet werden.

Hierzu ist es wichtig zu verstehen, dass E-Fahrzeuge möglichst immer, wenn sie die Möglichkeit haben und an einem Ladepunkt geparkt werden, geladen werden. Dadurch wird verhindert, dass die Fahrzeuge mit aller höchster Wahrscheinlichkeit nicht alle gleichzeitig laden. Das schont das Lastverhalten der Stromversorgung in der jeweiligen Liegenschaft und wirkt sich positiv auf die Batterielebensdauer des Fahrzeuges aus.

Vorab müssen u.a. folgende Fragen beantwortet werden:

Wie viele E-Fahrzeuge soll der Fuhrpark im Endstadium haben?

Welche Kilometerlaufleistung haben die Fahrzeuge jährlich und täglich (Fahrtenbücher, Schätzungen)?

Innerhalb welcher Zeiten können die Fahrzeuge laden (Zeitfenster, Feste Prioritäten, variabel, ...)?

Wo soll die Ladeinfrastruktur installiert werden (Tiefgarage, Garage, Parkplatz)?

Gibt es weitere Möglichkeiten des Ladens (öffentliches Laden, weitere Standorte, Mitarbeiter Heimpladen, ...)?

2.1 Laufleistungen, Ladestrom und Ladezeiten

2.1.1 Ermittlung der täglichen Fahrzeuglaufleistungen

Nach der Bestimmung der Anzahl der Fahrzeuge ist die Ermittlung der Laufleistungen der Fahrzeuge ein wichtiger Schritt für die Errichtung der Ladeinfrastruktur.

Die durchschnittliche tägliche Laufleistung der Fahrzeuge kann durch Schätzungen, Annahmen oder Wissen abgebildet werden. Die meisten Institutionen führen Fahrtenbücher und können daran abschätzen, welche Laufleistung im Durchschnitt ein Fahrzeug hat. Extreme Abweichungen nach oben können in der

Berechnungstabelle separat berücksichtigt werden. Dadurch kann eine Einschätzung über die Höhe der maximalen Ladeleistung eines Ladepunktes erfolgen.

Eine weitere Möglichkeit zur Ermittlung der durchschnittlichen Laufleistung pro Tag sind die Daten der Leasing- oder Versicherungsraten. In diesen müssen meist jährliche Laufleistungen angegeben werden. Mit diesen Angaben und den möglichen Arbeitstagen, an denen die Fahrzeuge zum Einsatz kommen, lassen sich durchschnittliche tägliche Fahrkilometer ermitteln.

Anschließend werden mögliche Ladezeiten ermittelt. Hierbei muss abgeschätzt werden, zu welchen Zeiten innerhalb eines Tages die Fahrzeuge an den Ladepunkten zum Laden abgestellt werden.

Vorab müssen u.a. folgende Fragen beantwortet werden:

Woher können Daten für die durchschnittlichen täglichen / wöchentlichen Laufleistungen bezogen werden (Fahrtenbücher, Annahmen, Jahresabrechnung,...)?

Ist es möglich mehrmals täglich zu Laden?

Für kurze Zeit oder mehrere Stunden?

Sind die Fahrzeuge nur nachts an den Ladepunkten?

Wie regelmäßig kommen die Fahrzeuge zum Nachladen?

Haben die Fahrzeuge bei Partnerinstitutionen die Möglichkeit des Nachladens?...

Hierbei ist wichtig zu wissen, dass die Fahrzeuge möglichst immer, wenn sie an einem Ladepunkt abgestellt werden, wieder geladen werden sollen.

Standzeit Fahrzeug = Ladezeit

Die Gleichzeitigkeit der Ladezeitpunkte werden dadurch über die Tag- und Nachtstunden verteilt und führen zu geringeren punktuellen Stromlasten in der gesamten Ladeinfrastruktur (beziehungsweise eine Stromlastverteilung über den gesamten Tag). Ebenfalls schont häufiges Laden die Batterien der Fahrzeuge und sorgt für ausreichende Batterieleistung auf längere Fahrstrecken.

Durch ein passendes Lade- und Lastmanagement können die Gefahren von teuren Lastspitzen beziehungsweise eines Versorgungszusammenbruchs innerhalb der gesamten Liegenschaft abgewendet werden.

2.1.2 Ermittlung des täglichen Ladestroms

Anhand der täglichen Laufleistung können unter der Annahme eines durchschnittlichen Stromverbrauchs von 20 – 40 kWh / 100 km (Quelle <https://www.enbw.com/blog/elektromobilitaet/laden/wie-hoch-ist-der-stromverbrauch-von-elektroautos/>) ein durchschnittlich täglich erforderlicher Ladestrom errechnet werden.

Dabei gilt folgende Formel:

Strombedarf (je Fahrzeug und Tag) = gefahrene km * Verbrauch des Fahrzeuges in kWh

Für eine genauere Betrachtung können die entsprechenden Verbrauchsdaten aus der Fuhrparkplattform der ThEGA unter: [Marktüberblick – Fuhrparkplattform der ThEGA](#) fahrzeugscharf ermittelt werden.

Aus den notwendigen erfassten Fahrzeugdaten können mit Hilfe der Tabelle 7 im Anhang der tägliche Strombedarf pro Fahrzeug und für den gesamten Liegenschaftsstandort ermittelt werden.

Dieser ermittelte Strombedarf muss täglich über die Versorgung der Liegenschaft zusätzlich bereitgestellt werden können. Die Bestimmung dieser Bedarfsabdeckung erfolgt im Kapitel 3.

2.1.3 Ermittlung der Ladezeiten

Die Ermittlung der Ladezeiten erfolgt auf Basis des errechneten Stromverbrauchs des Fahrzeuges und der zur Verfügung gestellten Ladetechnik (-leistung). Hierfür können verschiedene Ansätze und Leistungsstufen gewählt werden. An den gebräuchlichsten Ladetechniken kann mit 11 beziehungsweise 22 kW geladen werden. Jedoch können innerhalb von Last- und Lademanagementsystemen (s. dazu Kapitel 4) diese Leistungen variabel gestaltet und bis auf ein Minimum von ca. 3,7 kW (einphasiges Laden bei 230 V, z.B. Mennekes Wallbox AMTRON Compact 3,7/11 kW) beziehungsweise 4,2 kW (dreiphasiges Laden) reduziert werden. Durch die geringere Ladeleistung verlängern sich die Ladezeiten entsprechend.

Dabei gilt folgende Formel:

$$\text{Ladezeit} = \text{Strombedarf kWh} / \text{Ladeleistung des Ladepunktes kWh} * 1,3$$

2.1.4 Anzahl der Ladepunkte

Auf die erforderliche beziehungsweise mögliche Anzahl der Ladepunkte gibt es verschiedene Einflussparameter. Teilweise gibt es gesetzliche Vorgaben bezüglich der Anzahl, auch können interne Richtlinien oder Erfordernisse bestimmende Größen sein. Liegen die Parameter nicht so klar vor gibt es eine Vielzahl an möglichen Varianten von Verhältnissen zwischen Fahrzeugen und Ladepunkten beginnend bei 1:1 bis hin zu 10:1 und mehr. Abhängig ist diese Komponente von den Ansprüchen an den Fuhrpark: Handelt es sich um Einsatzfahrzeuge mit hoher Verfügbarkeitsrate? Sind viel Platz und Zeit zum regelmäßigen Rangieren der Fahrzeuge vorhanden? Können Ladepunkte von mehreren Parkplätzen aus zugänglich gemacht werden? Dies sind nur einige Fragen, welche die Institution sich an diesem Punkt im Projekt stellen sollte.

Mit der Anzahl der Ladepunkte und den Ladezeiten können in Annäherungsverfahren eine gute Basis für das beste Verhältnis getroffen werden. Sofern es keine stabilen, immer wiederkehrenden Abläufe gibt, kann jedoch das Verhältnis der Fahrzeuge zur Anzahl der Ladepunkte in den meisten Fällen nicht exakt fixiert werden.

Mit Hilfe der berechneten, erforderlichen Ladezeiten der Fahrzeuge können unter Zuhilfenahme der Tabelle 3 (s. Anhang) die Anzahl der Ladepunkte ermittelt werden.

Innerhalb der Tabelle kann mit den unterschiedlichen Verhältnissen Fahrzeuge vs. Ladepunkte „gespielt“ werden.

Tabelle 1 Beispielhafte Darstellung Ladeleistung / Ladezeiten / Verhältnis Fahrzeug zu Ladepunkt (bei stetigem Nachladen)

		Ladezeit Normalladen mit...			Ladezeit Schnellladen
		... 11 kW	... 22 kW	... 4,2 kW	... 50 kW
flexibles tägl. Nachladen in h pro Ladepunkt*	Verhältnis 3:1 Ladepunkte 8 *	7,73	3,86	20,24	14,17
	Verhältnis 2:1 Ladepunkte 13 *	5,15	2,58	13,5	14,17

*Anzahl Ladepunkte n + 1 Schnellladepunkt 50kW

In der Tabelle ist zu erkennen, dass durch die Anzahl der Ladepunkte die Ladezeiten variabel gestaltet werden können. Je nach örtlichen Gegebenheiten hinsichtlich des verfügbaren Hausanschlusses (s. Punkt 3.3) und Anforderungen an die Einsatzbereitschaft der Fahrzeuge sind Projektplaner in der Lage mit diesen Berechnungen die erforderliche Menge an Ladepunkten zu ermitteln. Dabei ist zu beachten, dass in den wenigsten Fällen alle Ladevorgänge gleichzeitig stattfinden werden / können. Überwiegend bieten die Hausanschlüsse dafür keine ausreichende Kapazität. Weitere Ausführungen dazu s. Punkt 3.3.

Im Punkt 2.1.1 wurde schon darauf hingewiesen, dass die Fahrzeuge möglichst immer, wenn es eine Möglichkeit zum Laden gibt, auch geladen werden sollten. Um dieses Bewusstsein für das permanente und tägliche Nachladen („Standzeit Fahrzeug = Ladezeit“) der Fahrzeuge nachhaltig zu verstetigen ist nachfolgend aufgeführt, welche Auswirkungen nahezu leere Akkus der Fahrzeuge für die Aufladezeiten bedeuten würden. An dieser Stelle wird in der Theorie davon ausgegangen, dass die entsprechende Ladeleistung in vollem Umfang am Hausanschluss zur Verfügung steht. Für die Festlegung der Ladeleistung ist die Batteriekapazität des jeweiligen Fahrzeuges die bestimmende Größe (s. Anhang Tabelle 7).

Dabei gilt folgende Formel:

$$\text{Ladezeit} = \text{Strombedarf kWh} / \text{Ladeleistung des Ladepunktes kWh} * 1,3$$

Tabelle 2 Beispielhafte Darstellung Ladeleistung / Ladezeiten / Verhältnis Fahrzeug zu Ladepunkt (Akkustand nahe 0)

		Ladezeit Normalladen mit...			Ladezeit Schnellladen
		... 11 kW	... 22 kW	... 4,2 kW	... 50 kW
flexibles tägl. Nachladen in h pro Ladepunkt*	Verhältnis 3:1 Ladepunkte 8 *	31,77	15,88	83,20	58,24
	Verhältnis 2:1 Ladepunkte 13 *	21,18	10,59	55,47	58,24

*Anzahl Ladepunkte n + 1 Schnellladepunkt 50kW

In dieser Tabelle ist sehr gut zu erkennen, dass mit nahezu leeren Fahrzeugbatterien zum großen Teil nur an den 22 kW Ladepunkten die erforderlichen Nachladekapazitäten innerhalb von 24 h beziehungsweise realistischen Stillstandszeiten (= Ladezeiten) bereitgestellt werden können. Im Umkehrschluss würde dies für das Beispiel bedeuten, dass entweder 8 x 22 kW = 154 kW beziehungsweise 13 x 22 = 286 kW zusätzliche Anschlussleistung über viele Stunden am Tag am Hausanschluss bereitgestellt werden müsste. Die Folgen eines sehr hohen Anschlussbedarfs sind unter Punkt 3.4 dargestellt.

2.1.5 Fazit Bedarf an Ladestrom

Werden die Fahrzeuge über den gesamten Tag hinweg regelmäßig in den Stillstandszeiten am Standort oder anderen Lademöglichkeiten (Gaststandorte / Tagungsstätten / Hotels / etc.) nachgeladen, dann können mit einem Lade- und Lastmanagement teilweise ohne große Herausforderungen bezüglich des Hausanschlusses alle Fahrzeuge ausreichend mit Strom versorgt werden. Ist dies nicht möglich, kann es vorkommen, dass der Fuhrpark mit hohen Gleichzeitigkeiten z.B. in der Nacht aufgeladen werden muss. Dies kann u.U. zur Überlastung des Hausanschlusses führen bzw. verhindern, dass alle Fahrzeuge geladen werden können. Da die Erweiterung des Hausanschlusses in den meisten Fällen sehr zeit- und kostenintensiv ist (mitunter 2-3 Jahre und 150-500 TEUR) ist es erforderlich Lösungsansätze zu differenzierten Ladezeiten, Lademengen, alternative Lademöglichkeiten, differenziertes Fahrstreckenmanagement, etc. auszuarbeiten. Werden dadurch wenig praktikable Lösungen gefunden können mit dem Netzbetreiber Möglichkeiten der Hausanschlusserweiterung (s. 3.4.1) abgestimmt werden.

2.1.6 Beispielrechnung:

Das Ministerium für Seefahrt wird in den nächsten fünf Jahren seine Fahrzeugflotte auf 25 elektrifizierte Fahrzeuge umstellen.

Die durchschnittliche tägliche Laufleistung der Fahrzeuge wird zum Teil aus den Fahrtenbüchern ermittelt und teilweise aus den Gesamtkilometern der Leasingverträge geschätzt. Daraus ergibt sich pro Fahrzeug ein geschätzter Durchschnittlicher Fahrkilometersatz von 50 km/ Tag.

Diese Fahrkilometer werden über den Tag verteilt entweder innerhalb von 8, 12 oder 24 Stunden in variablen Zeitabschnitten gefahren. Ebenfalls kommen die Fahrzeuge an unterschiedlichen Tagen zum Einsatz. Manche Fahrzeuge sind täglich, manche nur wochentags im Einsatz. Dadurch ergeben sich durchschnittlich berechnete Fahrkilometer in einer Spanne von ca. 33 -114 km / d (Daten s. Anhang Tabelle 7). Ebenso variabel wird sich das Laden gestalten. Ein Teil der Fahrzeuge wird feste Ladezeiten innerhalb eines Zeitfensters zwischen 18:00 - 06:00 Uhr haben. Die restlichen Fahrzeuge laden immer, wenn Sie an einem Ladepunkt stehen.

Anhand der täglichen Laufleistung der einzelnen Fahrzeuge kommen in Summe 1.817 km / Tag (s. Anhang Tabelle 7) zusammen.

Anhand der Kilometerlaufleistungen können unter der Annahme der jeweils durchschnittlichen Stromverbräuche je Fahrzeugtyp von 15 – 40 kWh / 100 km (Quelle Marktüberblick – Fuhrparkplattform der ThEGA oder <https://www.enbw.com/blog/elektromobilitaet/laden/wie-hoch-ist-der-stromverbrauch-von-elektroautos/>) ein durchschnittlich täglich erforderlicher Ladestrom von ca. 545 kWh für alle Fahrzeuge errechnet werden.

Anhand dieser Daten können verschiedene Szenarien bezüglich der Ausgestaltung der Liegenschaft mit Ladeinfrastruktur entstehen. In der nachfolgenden Tabelle werden unterschiedliche Szenarien, die sich nah an den gebräuchlichsten Umsetzungsvarianten orientieren, aufgeführt. Diese verdeutlichen wieviel Ladezeiten mit der jeweiligen Ladeleistung zum Aufladen erforderlich sind.

Als Annahme wird hier von einem geplanten Verhältnis von Fahrzeugen zu Ladepunkten von 3:1 ausgegangen. Dadurch ergeben sich für das Beispiel 8 Normalladepunkte. Die gleiche Berechnung wurde noch einmal mit einem Verhältnis von 2:1 durchgeführt. Zur Verbildlichung von verschiedenen Varianten wurde eine Schnellladesäule mit in die Betrachtungen der beiden Varianten aufgenommen.

Tabelle 3 Exemplarische Darstellung der Ladezeiten bei Nachladen (stetiges Nachladen) mit 8 Ladepunkten

Verhältnis Fahrzeuge zu Ladepunkte: 3:1		Ladepunkte berechnet und gerundet			
		Ladezeit Normalladen mit...		Ladezeit Schnellladen	
8		... 11 kW	... 22 kW	4,2 kW	...50 kW
flexibles tägl. Nachladen in h	alle Fahrzeuge	64,41	32,21	168,70	14,17
	pro Ladepunkt*	7,73	3,86	20,24	14,17

*Anzahl Ladepunkte 8 + 1 Schnellladepunkt 50kW

Tabelle 4 Exemplarische Darstellung der Ladezeiten bei Nachladen (stetiges Nachladen) mit 13 Ladepunkten

Verhältnis Fahrzeuge zu Ladepunkte: 2:1		Ladezeit Normalladen mit...			Ladezeit Schnellladen
		Ladepunkte berechnet und gerundet			
		... 11 kW	... 22 kW	... 4,2 kW	...50 kW
13					
flexibles tägl. Nachladen in h	alle Fahrzeuge	64,41	32,21	168,70	14,17
	pro Ladepunkt*	5,15	2,58	13,50	14,17

*Anzahl Ladepunkte 13 + 1 Schnellladepunkt 50kW

Aus den beiden Tabellen hat das Ministerium für Seefahrt ableiten können, dass für beide Verhältnisse (Fahrzeug / Ladepunkt) mit dem Laden an 11 kW Ladepunkten Ladezeiten erreichbar sind, die zu den Einsatzzeiten ihrer Flotte passen.

Aus diesem Rückschluss hat das Ministerium errechnet, dass es Ladepunkte entweder mit $8 \times 11 \text{ kW} = 88 \text{ kW}$ oder $13 \times 11 \text{ kW} = 143 \text{ kW}$ elektrischer Leistung für die Versorgung der Ladeinfrastruktur benötigen würde. Im Kapitel 3.6 wird näher erläutert, was diese elektrischen Leistungen für den Hausanschluss bzw. die Umsetzung im Hausinternen Netz bedeuten.

Diese Angaben hat das Ministerium an die Fachplanungsabteilung überreicht und um eine Planung für die Installation der Ladeinfrastruktur gebeten.

Die Planungsabteilung hat an diesem Punkt angesetzt und die nächsten Schritte eingeleitet (s. nächste Kapitel).

Zusätzlich hat das Ministerium eine Überprüfung durchgeführt, welche Auswirkungen auf die Ladezeiten entstehen können, wenn alle Fahrzeuge gleichzeitig mit nahezu leeren Akkus Laden würden. Die Ergebnisse wurden in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 5 Exemplarische Darstellung der Ladezeiten bei Nachladen mit Akkustand nahe 0 mit 8 Ladepunkten

Variante 1		Ladezeit Normalladen mit...			Ladezeit Schnellladen
		... 11 kW	... 22 kW	4,2 kW	...50 kW
Verhältnis 3:1 Ladepunkte 8					
100% Nachladen (Akku 0%)	alle Fahrzeuge	264,73	132,36	693,33	58,24
	pro Ladepunkt*	31,77	15,88	83,20	58,24

*Anzahl Ladepunkte n + 1 Schnellladepunkt 50kW

Tabelle 6 Exemplarische Darstellung der Ladezeiten bei Nachladen mit Akkustand nahe 0 mit 13 Ladepunkten

Variante 2		Ladezeit Normalladen mit...			Ladezeit Schnellladen
		... 11 kW	... 22 kW	4,2 kW	...50 kW
Verhältnis 2:1 Ladepunkte 13	alle Fahrzeuge	264,73	132,36	693,33	58,24
	pro Ladepunkt*	21,18	10,59	55,47	58,24

*Anzahl Ladepunkte n + 1 Schnellladepunkt 50kW

Aus diesen beiden Tabellen konnte anschließend abgeleitet werden, dass in beiden betrachteten Varianten das Laden zu halbwegs realistische Ladezeiten an 22 kW Ladepunkten durchgeführt werden müsste.

Auch diese elektrischen Versorgungsleistungen für die Ladeinfrastruktur wurden mit $8 \times 22 \text{ kW} = 176 \text{ kW}$ beziehungsweise $13 \times 22 \text{ kW} = 286$ an die Planungsabteilung zur Prüfung übergeben. Im Kapitel 3.6 wird näher erläutert, was diese elektrischen Leistungen für den Hausanschluss bzw. die Umsetzung im Hausinternen Netz bedeuten.

3 Ermittlung der erforderlichen Anschlussleistung für die Ladeinfrastruktur

Für die Bereitstellung von Ladeinfrastruktur ist eine leistungsfähige und moderne Elektroinstallation erforderlich. In vielen Bestandsbauten ist diese jedoch selten vorhanden.

Durch die vorhandenen Rahmenbedingungen am Hausanschluss ist es häufig erforderlich darüber nachzudenken, wie eine stabile Stromversorgung sowohl für die Liegenschaft als auch für die Ladeinfrastruktur gestaltet werden kann.

Das nachfolgende Kapitel soll Lösungsansätze und eine technische Orientierung bezüglich der sicheren Stromversorgung bieten.

3.1 Status quo- vorhandener Hausanschluss

Bevor mit näheren Untersuchungen hinsichtlich der Errichtung von Ladeinfrastruktur begonnen wird sollten im Vorfeld beim Netzbetreiber die vorhandenen Anschlussdaten und Anschlussmöglichkeiten der jeweiligen Liegenschaft abgefragt werden.

Der Anschlusswert der Liegenschaft ist ein Maximalwert, mit welchem das Anschlusskabel des Hausanschlusses belastet werden könnte. Wird dieser Wert durch die Lasten innerhalb der Liegenschaft überschritten, kommt es in den meisten Fällen zu einem Stromausfall.

Ein großer Teil der Liegenschaften wird aus einer lokalen Trafostation gemeinsam mit den umliegenden Liegenschaften versorgt (lokaler Netzbereich).

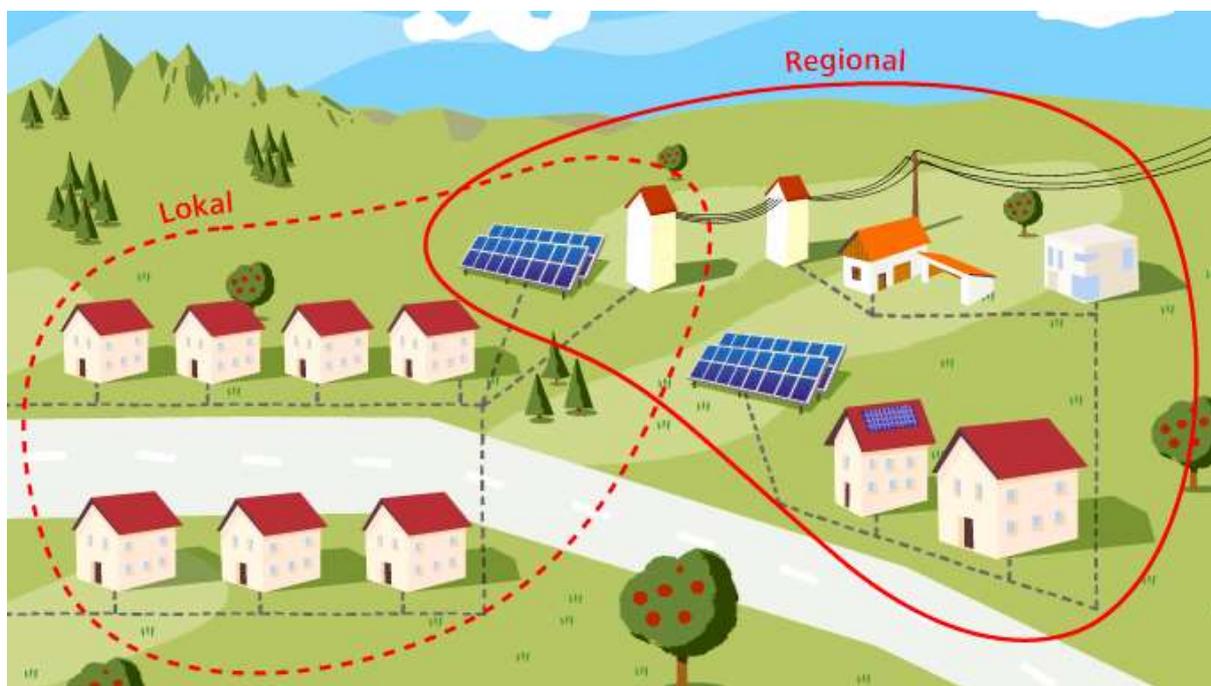


Abbildung 1: Schema eines lokalen und regionalen Stromnetzes (Quelle: [Energiegemeinschaften | Energie. Wasser. Leben. | EVN](#))

Mit einer steigenden Anzahl an Ladestationen innerhalb einer Liegenschaft und zusätzlich im lokalen Netzbereich können die erhöhten Stromlasten im schlimmsten Fall auf lokaler Ebene zu Stromausfällen oder sogar zu Schäden am Stromnetz führen. Daher ist einer dauerhaften Überlastung mit intelligenten Energiemanagementlösungen (Energie-, Last- und / oder Lademanagement) entgegenzuwirken.

Auf die Kompatibilität mit intelligenten Steuereinheiten ist beim Kauf der Ladetechnik unbedingt zu achten.

3.2 Status quo- vorhandener Lastgang

Für die Bewertung von möglichen Lastreserven und – spitzen innerhalb der vorgesehenen Liegenschaft ist eine Auswertung der Stromlastgänge eine wichtige Voraussetzung. Diese können beim zuständigen Netzbetreiber abgerufen werden. Idealerweise werden von mehreren Jahren die Lastgänge abgefragt und ausgewertet. Für die Auswertung stehen unterschiedliche kostenfreie Analysehilfen zur Verfügung. Eine Lastprofilanalyse kann z.B. über die Toolbox des „Umwelt-Campus Birkenfeld“ der Hochschule Trier (Quelle: <https://www.umwelt-campus.de/fileadmin/Umwelt-Campus/IBT/energytools/excel/Lastprofilauswertung.xlsx>) erfolgen.

Liegen die Lastgänge von mehreren Jahren vorliegen können Vergleiche zwischen den Werten aufgestellt werden.

Teilweise kommt es vor, dass das Lastverhalten an unterschiedlichen Tagen und Uhrzeiten erheblich voneinander abweichen kann (s. dazu Beispielrechnung am Ende des Kapitels).

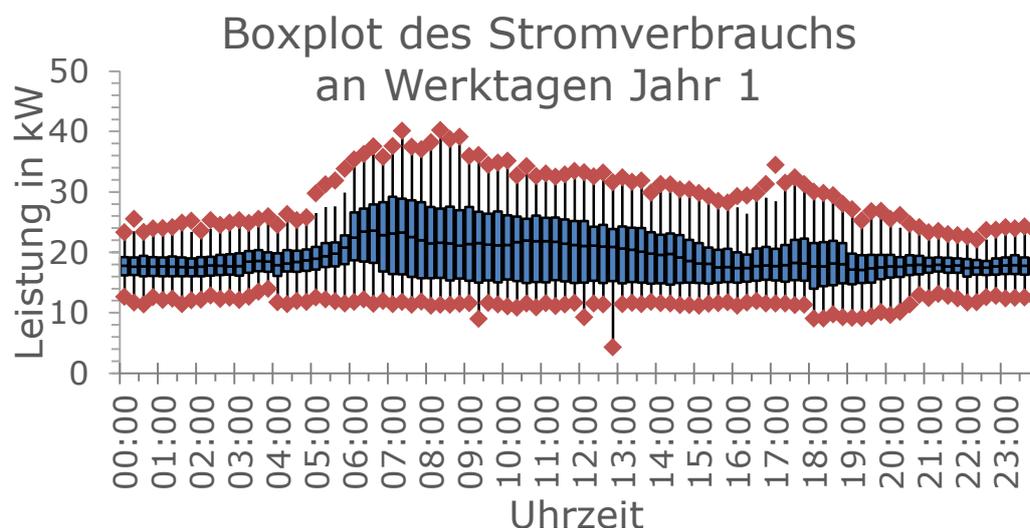


Abbildung 2: Beispiel eines Boxplot für den Stromverbrauch an Werktagen Auswertejahr 1)

3.3 Mögliche Lastreserve am Hausanschluss

Wird die Differenz zwischen dem Hausanschlusswert und der höchsten Lastspitze gebildet, erhält man die minimal mögliche Leistungsreserve für die Ladeinfrastruktur. Umgekehrt ergeben die Lastsenken die höchstmöglichen Leistungsreserven. Die Lastwerte und Lastzeitpunkte der Lastspitzen und -senken, die Ladelastwerte und die Ladezeiten sind wichtige Anhaltspunkte für das Lade- und Lastmanagement und die Bewertung der Umsetzungschancen von Ladeinfrastruktur in der entsprechenden Liegenschaft.

Anhand der Leistungsreserve kann überschläglich ermittelt werden welche garantierte Anzahl an Ladepunkten mit einer bestimmten Ladeleistung permanent betrieben werden könnte. In den meisten Fällen wird durch den Planungsdienstleister in Zusammenarbeit mit dem Netzbetreiber dieser Sachverhalt bewertet.

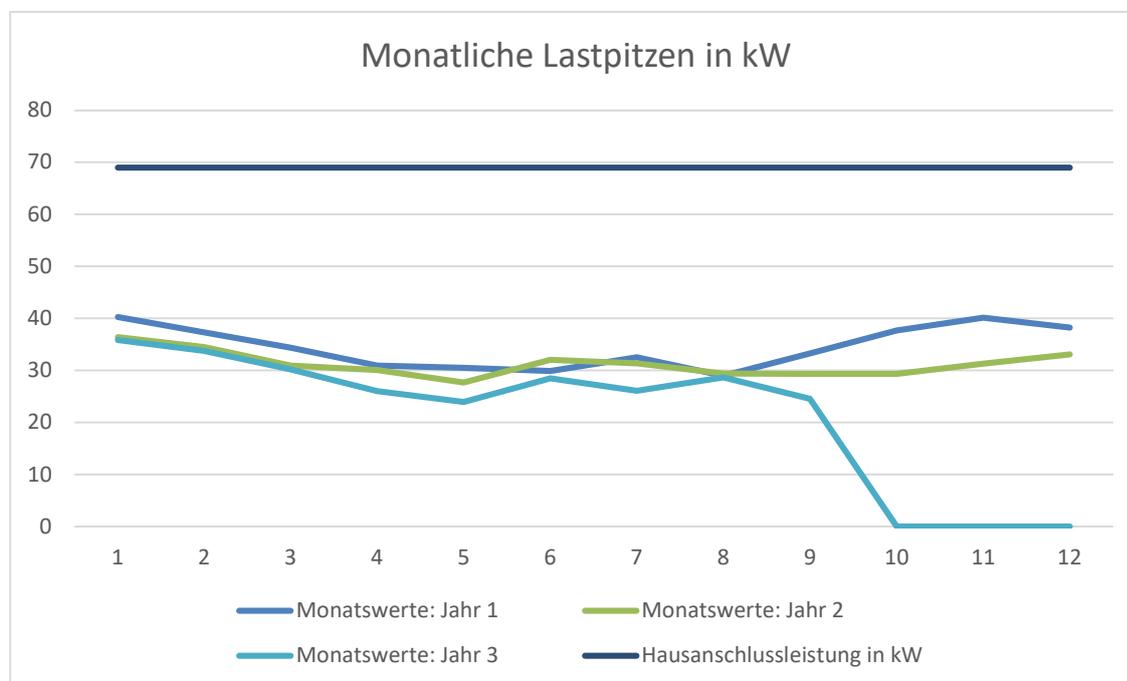


Abbildung 3: Gesamtdarstellung der monatlichen „Lastspitzen“ und dem Hausanschlusswert

3.4 Installation von Schnellladesäulen mit Ladeleistungen über 50 kW

Das Laden an Schnellladesäulen hat einige Vorteile gegenüber dem klassischen Laden mit bis zu 22 kW. Die Fahrzeuge können an ihnen durch die hohe Ladeleistung in sehr kurzer Zeit betankt werden. In den meisten Fällen besitzen sie auch ein effektives Lademanagement, wodurch vor allem die Batterien geschont werden.

Diese Vorteile für den Fahrzeugnutzer müssen im Umkehrschluss durch einen hohen finanziellen Aufwand (bis zu 130 TEUR ggü. ca. 6-10 TEUR) und dem erweiterten Stromanschluss der Liegenschaft bereitgestellt werden. Eine garantierte Lastreserve für das Schnellladen mit 50 kW und mehr kann in den wenigsten Fällen gewährleistet

werden. Durch ein Lademanagement (s. 4.1.3) kann eine solche Ladesäule priorisiert zum Laden angesteuert werden. Dies kann jedoch nur erfolgen, wenn das Gebäude einen sehr geringen Verbrauch und ausreichend Lastreserve aufweist. Andernfalls kann eine zwingende Erhöhung des Anschlusswertes der Liegenschaft die Folge sein (s. 3.4.1).

Aus wirtschaftlichen Gründen sollte an dieser Stelle überlegt werden, wie hoch die Häufigkeit eines Nutzungseinsatzes einer solchen Ladeeinrichtung ist. Unter Umständen kann die elektrotechnische Planung innerhalb der Liegenschaft bis zum Hausanschlusskasten so erfolgen, dass die Zuleitung für eine Schnellladesäule mit geplant und auch installiert wird, jedoch die Beantragung der Hausanschlusserweiterung beim Netzbetreiber (s. 3.4.1) zu einem späteren Zeitpunkt erfolgt.

3.4.1 Erweiterung des Netzanschlusses

Ein Bestandteil des Planungsprozesses einer „hauseigenen“ Ladeinfrastruktur ist die Prüfung der vorhandenen Hausabsicherung und der zur Verfügung stehenden möglichen Anschlussleistung.

Dafür wird im Regelfall vom Elektroplaner eine Bestandsaufnahme der Liegenschaft durchgeführt. Hierzu können die zur Verfügung stehende Lastgänge dem zuständigen Netzbetreiber zur Verfügung gestellt werden. Die Anschlusswerte der Liegenschaft sind dem Netzbetreiber bekannt und können dort bei Bedarf abgefragt werden.

Nach Auswertung der Lastgänge bezüglich der Dauer- und Spitzenlasten kann der Netzbetreiber die Möglichkeiten hinsichtlich der sicheren Stromversorgung mit der zu installierenden Ladeinfrastruktur erörtern.

Der Prozess der Kommunikation mit dem Netzbetreiber ist in den meisten Fällen sehr ähnlich. Regionale Abweichungen können jedoch vorkommen. Üblicherweise wird ein Prozess, wie in der nachfolgenden Abbildung dargestellt, durchlaufen.

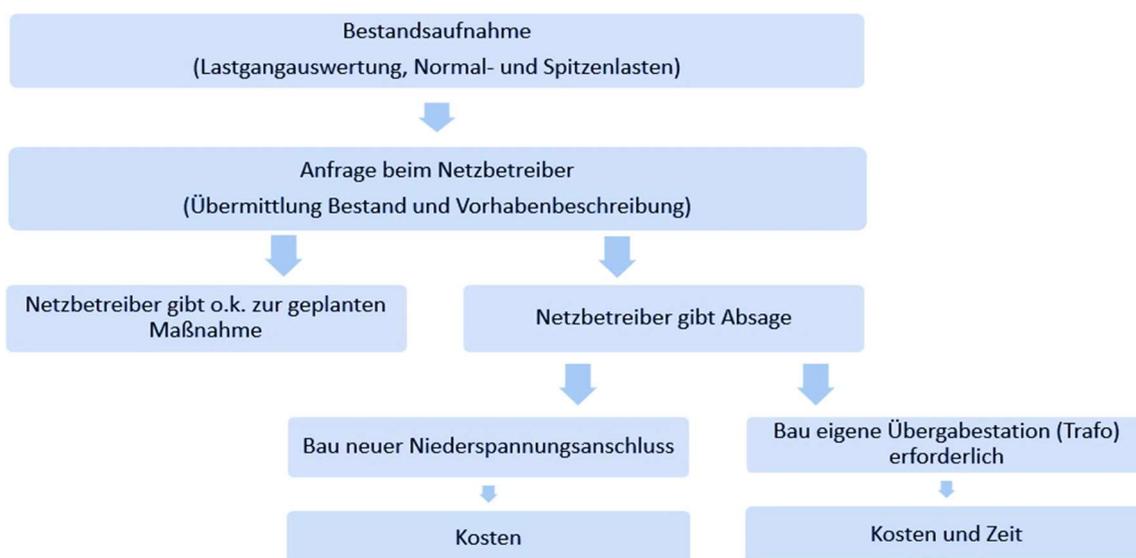


Abbildung 4: Prozessdarstellung Kommunikation mit dem Netzbetreiber

Der Netzbetreiber ist auf Grund seiner wichtigen Rolle bei der Umsetzung der Errichtung von Ladeinfrastruktur in einer Liegenschaft frühzeitig einzubinden. Er gibt wegweisende Vorgaben bezüglich der sicheren Versorgung mit Strom sowohl für die Liegenschaft als auch für das vorliegende regionale Netz.

Die Erweiterung des Netzanschlusses kann auf Grund der Anforderungen der Ladeinfrastruktur erforderlich sein. In vielen Fällen erfolgt dies durch den Bau eines neuen Niederspannungsanschlusses oder durch die Errichtung einer eigenen Trafostation (Mittelspannung) erfolgen. Die technische Umsetzung prüft der Netzbetreiber anhand der örtlichen Kapazitäten in der lokalen Netztrafostation. Die Netzanschlusserweiterung muss überwiegend durch denjenigen zu bezahlen, der den Bedarf anmeldet.

Für eine Leistungserhöhung im Niederspannungsnetz wird die Kapazität der lokalen Trafostation geprüft und die Verlegung eines neuen Kabels bis zum Hausanschluss monetär untersetzt. Die Umsetzungszeiten hierfür sind abhängig von der lokalen Tiefbauhoheit der Kommune. In diesem Gremium wird über den Zeitpunkt von Baumaßnahmen im gesamten Hoheitsgebiet entschieden und liegt überwiegend in verhältnismäßig überschaubaren Zeiträumen (wenige Wochen). Die Beantragung hierfür wird vom zuständigen Elektroplaner eingereicht.

Ist die Leistungsreserve der lokalen Trafostation im Niederspannungsnetz nicht gegeben kann ein komplett eigener Hausanschluss mit Übergabestation (Trafostation) aus dem Mittelspannungsnetz heraus angestrebt werden. Hierfür können Baukosten i.H.v. 100.000 € und mehr entstehen. Aktuell werden hierfür Lieferzeiten von 1,5-2 Jahren aufgerufen.

Dieser Faktor sowie die geänderte Konstellation der Netzentgelte sind in die wirtschaftlichen Betrachtungen mit einzubeziehen. Die Entgelte im Mittelspannungsbereich können deutlich geringer ausfallen als im Niederspannungsnetz. Für die wirtschaftliche Betrachtung sollte hierfür ein Angebot vom zuständigen Netzbetreiber eingeholt werden. Im Angebot sollten die dazugehörigen Netzentgelte für den entsprechenden Hausanschluss mit angegeben sein.

Unter ungünstigen Netzumständen kann es durchaus vorkommen, dass eine Netzanschlusserweiterung zum Zeitpunkt der Anfrage nicht gewährt werden kann. Eine konstruktive Auseinandersetzung zwischen dem Netzbetreiber, dem Liegenschaftsvertreter und weiteren Beteiligten Anschlussnehmern im Arealnetz kann ggf. zu praktikablen Lösungsansätzen führen.

3.4.2 Alternative Überlegungen zum Schnellladen

Sollten die Einsatzmöglichkeiten für eine 50 kW Ladesäule innerhalb der Liegenschaft nicht gegeben sein, so kann über das Schnellladen an öffentlichen Ladesäulen nachgedacht werden.

Im Umkreis der meisten Liegenschaften im städtischen Raum befinden sich oft zahlreiche öffentliche Ladesäulen mit Ladeleistungen über 43 kW (s. dazu Abbildung 5 und Abbildung 6).

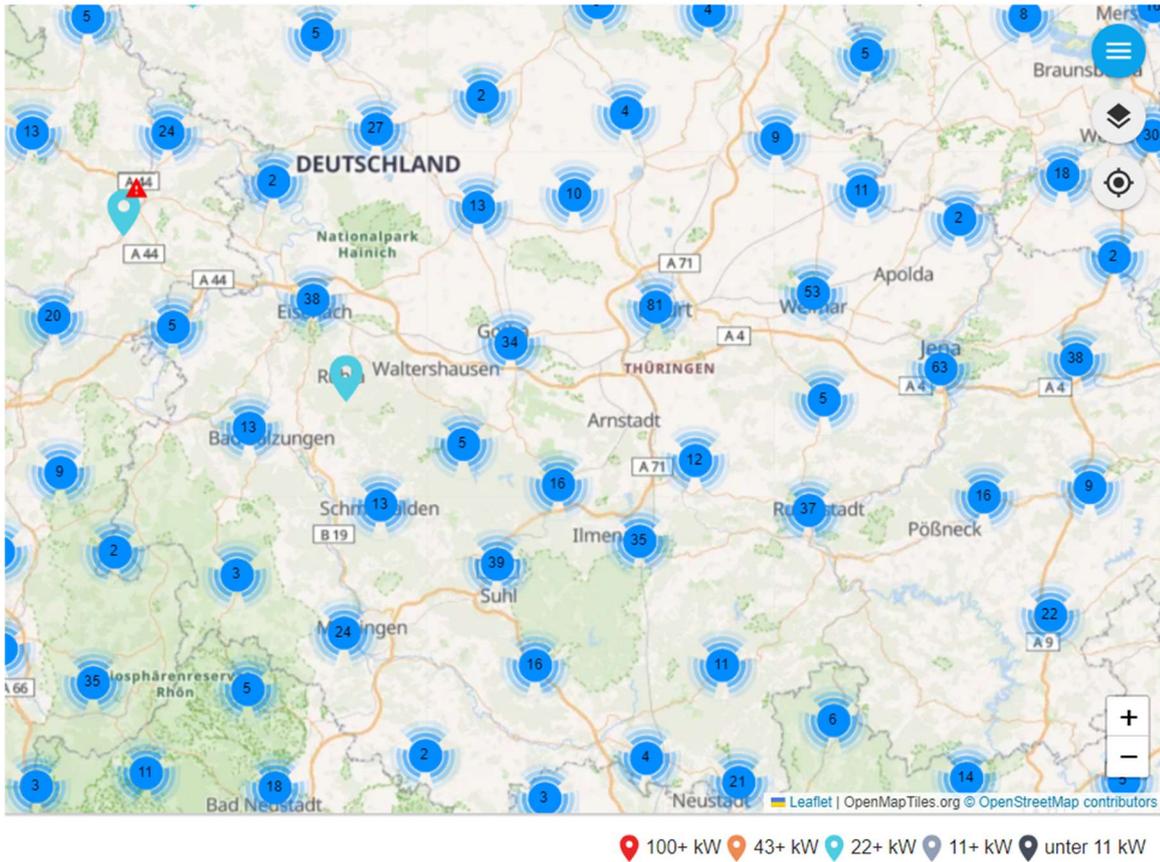


Abbildung 5: Übersicht öffentliche Ladesäulen Thüringen (Quelle Stromtankstellen Verzeichnis | GoingElectric.de)

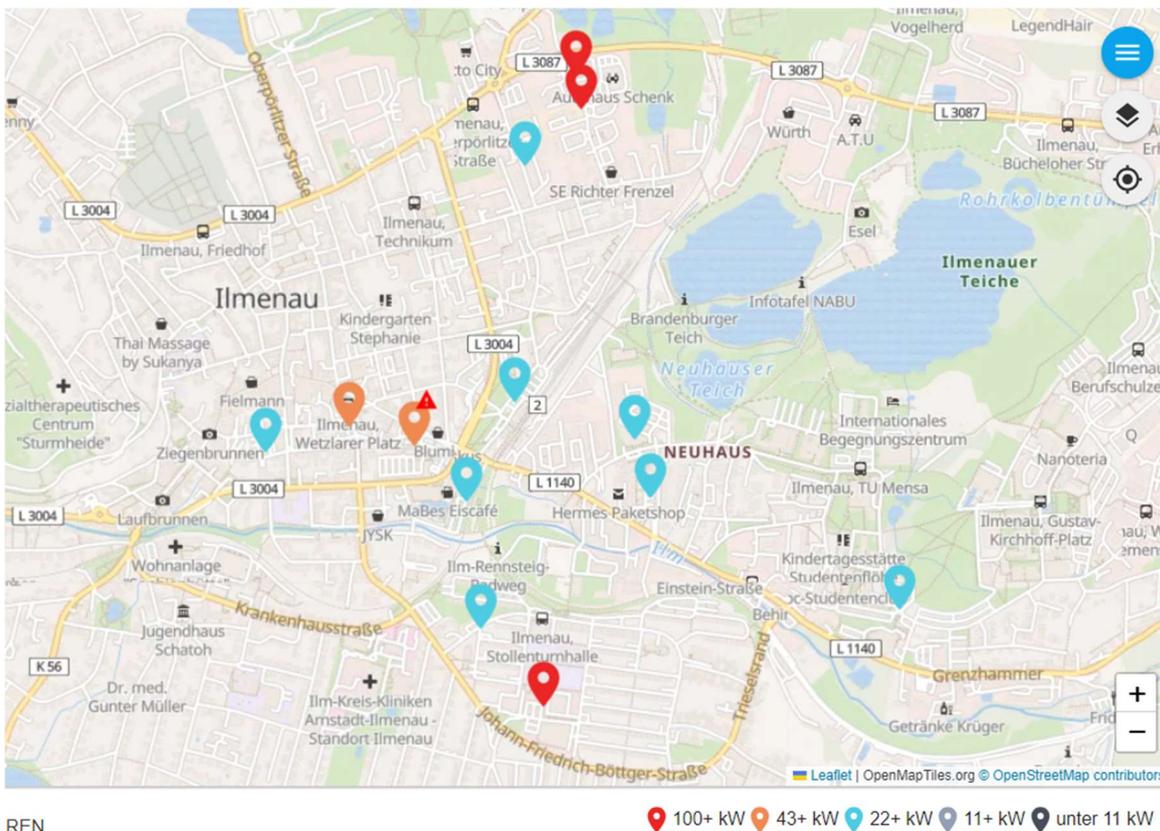


Abbildung 6: Übersicht öffentliche Ladesäulen am Beispiel Eisenach (Quelle Stromtankstellen Verzeichnis | GoingElectric.de)

Die Anzahl an öffentlich zugänglichen Lademöglichkeiten mit Ladeleistungen von 50 kW und mehr nimmt stetig zu. Bei Einsätzen mit langen Laufstrecken wird zukünftig immer häufiger eine geeignete Lademöglichkeit auf der Strecke liegen.

Eine Transformation des Denkansatzes für die Routenplanung hat in vielen Bereichen schon stattgefunden und ist zwingend erforderlich. Für Fahrten mit hohem Streckenaufkommen müssen zukünftig Zeiten für das Laden mit eingerechnet werden. Je nach Ladeleistung der öffentlichen Ladestation und den Lademöglichkeiten des Fahrzeuges müssen dafür jedoch heute nur noch zwischen 15 und 25 Minuten eingerechnet werden.

3.5 Einbindung einer PV- Anlage und Stromspeicher

In vielen öffentlichen Einrichtungen, Verwaltungen und kommunalen Gebäuden gab und gibt es immer häufiger die Bestrebungen die Liegenschaften mit PV-Anlagen auszustatten.

Mit PV-Anlagen könnte ein Teil des täglich erforderlichen Stromverbrauchs gedeckt werden. Teilweise ist es sogar möglich einen Überschuss zu erzeugen, welche entweder gespeichert, für die Ladeinfrastruktur genutzt oder direkt in das öffentliche Netz eingespeist werden kann. Eine Beurteilung welche Größe und welche Anlagenkomponenten (Speicher) die Anlage für den jeweiligen Liegenschaftslastgang benötigt, sollte durch einen Fachplaner ermittelt und bewertet werden. Dieser wird die Dimensionierung eines Speichers passend zum Verbrauch des Objektes auswählen. Damit kann PV-Strom, welcher nicht sofort genutzt wird, in einer Batterie gespeichert und für die spätere Nutzung zur Verfügung gestellt werden. Im Planungsprozess wird darauf geachtet, dass der Speicher weder zu groß noch zu klein dimensioniert ist. Die Eigenverbrauchsquote an PV-Strom sollte hierbei wirtschaftlich angemessen maximiert sein. Lässt der Lastgang der Liegenschaft und die technischen und örtlichen Rahmenbedingungen der PV- Anlage einen geringen Wert an PV-Überschüsse erwarten, sollte aus wirtschaftlichen Gründen der Speicher entsprechend klein dimensioniert bzw. weggelassen werden.

In den meisten Verwaltungsliegenschaften kann mit dem erzeugten Strom lediglich ein Teil des Bedarfs gedeckt werden. Sofern es die finanziellen Mittel zulassen, kann an dieser Stelle über eine Vergrößerung der PV-Fläche nachgedacht werden. Dies kann dazu beitragen einen noch größeren Teil des Grundbedarfs an Strom innerhalb der Liegenschaft und perspektivisch der Ladeinfrastruktur abzudecken.

Hat die Liegenschaft einen sehr hohen Stromgrundbedarf könnte die Speicherung von Strom unter Umständen in zu geringem Ausmaß erfolgen. Da Stromspeicher eine kostenintensive Anschaffung sind, ist in einem solchen Fall die Anschaffung unwirtschaftlich und wenig sinnstiftend. Daher sollte eine solche Anschaffung, wie oben erläutert, gut abgewogen werden.

3.6 Beispielrechnung

Für den Standort des Ministeriums für Seefahrt wurden folgenden Angaben zum Hausanschluss vom Netzbetreiber übermittelt:

Liegenschaftsanschlusswert:

Istzustand: 60 kW

Elektrotechnische Absicherung (Schutz vor Stromausfall) am:

Anschlusskasten: $3 \times 100 \text{ A} \times 230 \text{ V} = 69 \text{ kW}$

Das bedeutet, dass die Liegenschaft derzeit mit einem Leistungswert von 60 kW angeschlossen wurde. Die maximale Absicherung beträgt 69 kW.

Zusätzlich wurden beim zuständigen Messstellenbetreiber für die Betrachtungsjahre 1, 2 und 3 die vorhandenen Lastgänge abgefragt.

Jeder Lastgang wurde vorerst einzeln in Bezug auf seine maximal auftretenden Lasten ausgewertet. Dabei wurde sichtbar das differenzierte „Lastspitzenwerte“ an Werktagen und Wochenenden vorliegen. Ebenfalls ist gut ablesbar, dass sich die Stromlasten generell über die Jahre positiv nach unten entwickelt haben (s. Abbildung 7-Abbildung 10).

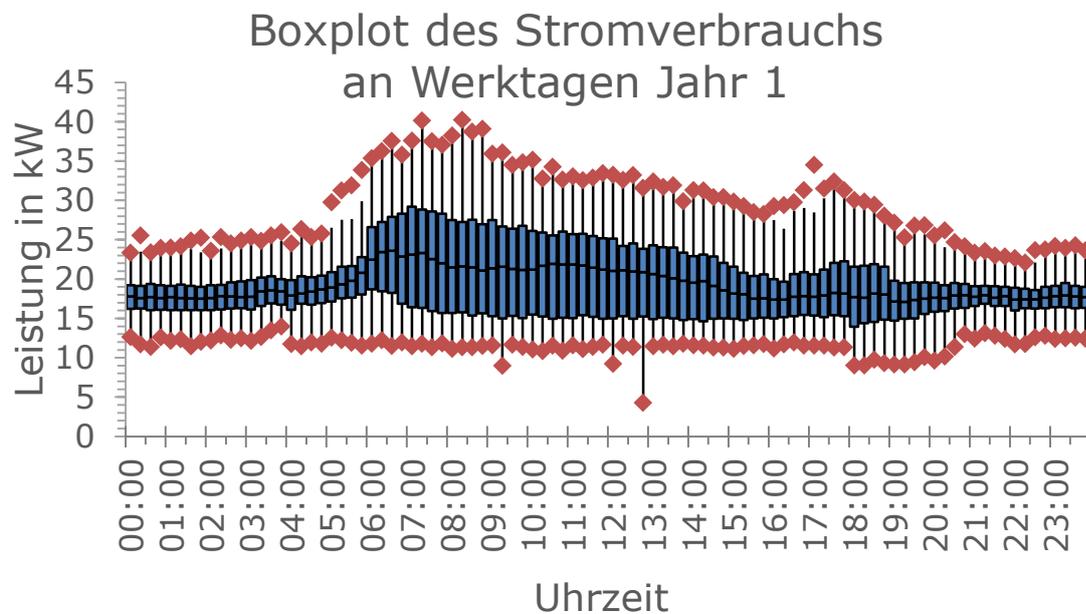


Abbildung 7: Beispiel eines Boxplot für den Stromverbrauch an Werktagen Auswertejahr 1)

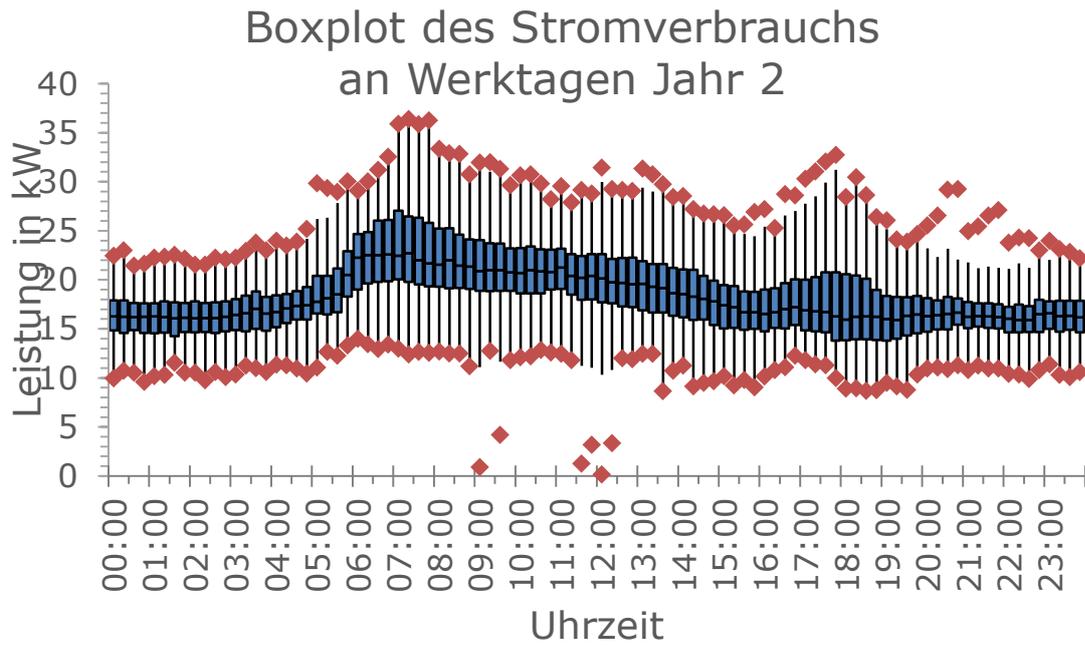


Abbildung 8: Beispiel eines Boxplot für den Stromverbrauch an Werktagen Auswertejahr 2

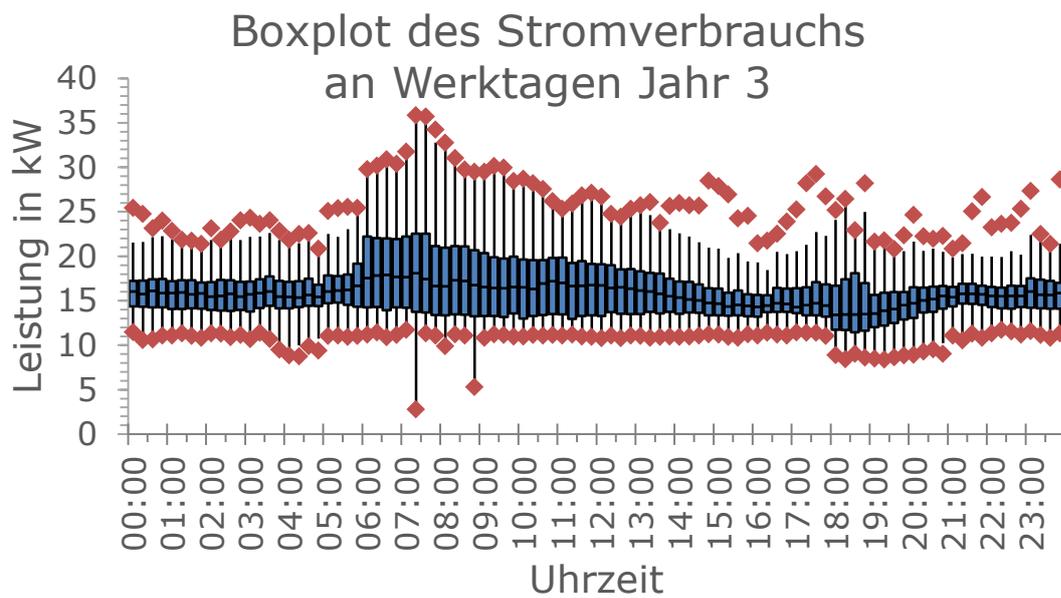


Abbildung 9 Beispiel eines Boxplot für den Stromverbrauch an Werktagen Auswertejahr 3

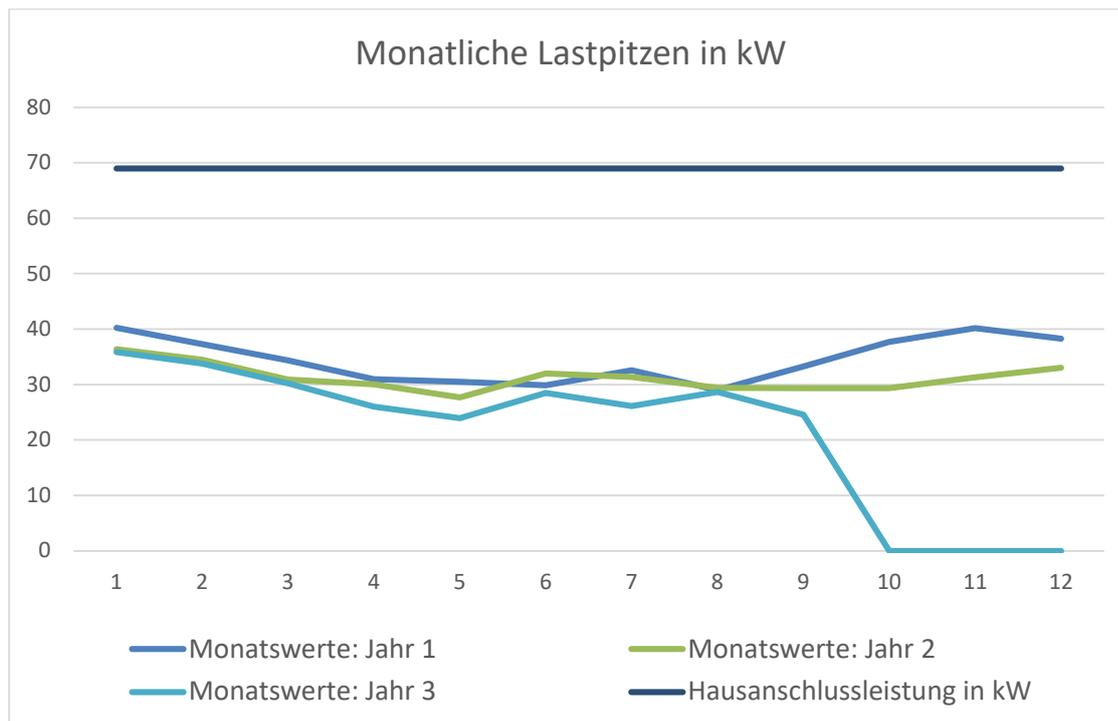


Abbildung 10: Gesamtdarstellung der monatlichen „Lastspitzen“

Aus den vorliegenden Lastgängen und der vorhandene Anschlussleistung können Lastreserven ermittelt werden.

Umgerechnet auf das permanente ungesteuerte Laden würde dies für das Beispiel (s. 2.1.6) bedeuten, dass laut Abbildung 10 mindestens 69 kW Hausanschluss abzüglich 41 kW Lastspitze = 27 kW Lastreserve zur Verfügung stehen.

Damit könnten 2 Ladesäulen à 11 kW im Dauereinsatz betrieben werden. Für das Laden mit 4,2 kW, als niedrigste anzunehmende Ladeleistung und einem entsprechenden Lademanagement könnten ca. 6 Ladepunkte 24 Stunden lang betrieben werden. 12 Ladepunkte könnten nur ca. 12 Stunden lang betrieben werden. Sollte das Lastmanagement bis auf die möglichen 3,7 kW herunterregeln, dann würden die Fahrzeuge nur einphasig Laden. Um hier eine Schiefast im Hausnetz zu verhindern, muss die Fachfirma darauf achten, dass dreiphasiges Laden möglichst gegeben ist. Dies steht immer in Abhängigkeit mit der Fahrzeugflotte. Sofern die Fahrzeuge nur einphasig laden können, ist dies zu berücksichtigen. Bezogen auf das permanente Nachladen der Fahrzeuge („Standzeit Fahrzeug = Ladezeit“) und dem täglichen Bedarf von ca. 545 kWh für alle Fahrzeuge wurden unter Punkt 2.1.3 (Tabelle 1) aufgewiesen, dass mit 11 kW und 8 Ladepunkten in Summe 7,73 Stunden pro Tag zum Laden aufgebracht werden muss. Mit 13 Ladepunkten kann an 5,15 h die gesamte Ladeleistung „betankt“ werden.

Hier gilt es abzuwägen, wie viele Stunden täglich haben die Fahrzeuge Zeit zu laden. Andernfalls kann über das Laden an öffentlich zugänglichen Ladesäulen (s. 3.4.2) beziehungsweise eine Erweiterung des Hausanschlusses (s.3.4.1) nachgedacht werden.

In Summe ist anhand der Beispiellastgänge ersichtlich, dass es durchaus große Zeitspannen gibt, an denen die Ladeinfrastruktur aus dem bestehenden Hausanschluss heraus betrieben werden kann.

Die Werte der Hausanschlussleistung dürfen jedoch zum Schutz vor einem Netzbereichsblackout (Stromausfall) nicht überschritten werden. Um die Gleichzeitigkeit in der Netzauslastung steuern und die bestehende Gefahr eines Stromausfalls abwenden zu können wird für alle Ladepunkte und die gesamte Ladeinfrastruktur im Ministerium für Seefahrt lade- und lastmanagementfähige Ladesäulen und die entsprechende Regeleinheit (Lade- und Lastmanagement s. Punkt 4) mit in die Ausschreibung aufgenommen.

Zusätzlich zu den Betrachtungen zum normalen Laden mit bis zu 22 kW wurde im Ministerium die Anforderungen für das Laden mit 50 kW abgewogen.

Die oben (s. Abbildung 7 - Abbildung 10) aufgeführten Lastgänge zeigen auf, dass die Liegenschaft mitunter deutliche Schwankungen im Verbrauch besitzt. Eine garantierte Lastreserve für das Schnellladen mit 50 kW kann nicht gewährleistet werden.

Mit einem priorisiertem Last- und Lademanagement (s. 4.1.3) würde die Ladesäule nur in Lastsenken und mit verringerter Leistung angesteuert werden können.

Da diese Konstellation als unverhältnismäßig eingestuft wurde und zusätzlich zu selten auftritt, ist ihre teure Anschaffung vom Ministerium in der Priorität nach hinten verlagert worden. Jedoch wird die liegenschaftsinterne Verkabelung mit eingeplant und in die Ausschreibungsphase integriert. Das Ministerium wird in den Folgejahren den Stromnetzausbau beobachten und die Entscheidung zur Hausanschlusserweiterung auf einen späteren Zeitpunkt verschieben.

4 Energie-, Last- und Lademanagement

Wie aus den vorangegangenen Ausführungen vorgeht, können Ladevorgänge flexibel gestaltet werden. Je nach Verhältnis zwischen Fahrzeugen und Ladepunkten können die Ladevorgänge mit einem intelligenten Lade- und Lastmanagement und dem sofortigen Nachladen innerhalb der Stillstandszeiten („Standzeit Fahrzeug = Ladezeit“) die Ausnutzung von Lastsenken, die Verhinderung von Lastspitzen (teuer) und Stromausfällen gut gesteuert werden

Die meisten Liegenschaften werden vom Netzbetreiber mit einer bestimmten maximal zur Verfügung stehenden Leistung an das Stromnetz angeschlossen. Kommt es dazu, dass diese Leistung durch die Gebäudenutzung überschritten wird, entsteht eine sogenannte Lastspitze. In den meisten Fällen führt dies nicht sofort dazu, dass das Gebäude durch den Überlastschutz in einen Stromausfall gerät. Der Netzbetreiber stellt diese „Mehrleistung“ meist zur Verfügung, lässt sie sich jedoch mit höheren Gebühren entlohnen. Die am Stromnetz beteiligten Komponenten, wie das Gebäude, ggf. erzeugter Eigenstrom (Wind- oder PV-Anlage) und zusätzliche Verbraucher, wie z.B. einer Ladeinfrastruktur für den Fuhrpark lassen sich durch verschiedene Steuereinrichtungen managen (s. Abbildung 11). Durch ein Management der Systemkomponenten können diese gesteuert und überwacht werden. Die teuren Lastspitzen können reduziert und ggf. komplett reglementiert werden. Zusätzlich kann eine baulich, monetär und verwaltungstechnisch aufwendige Kapazitätserweiterung des Netzanschlusses verhindert werden. Eine gesteuerte und bedarfsgerechte Lastverteilung innerhalb der Liegenschaft ist möglich.

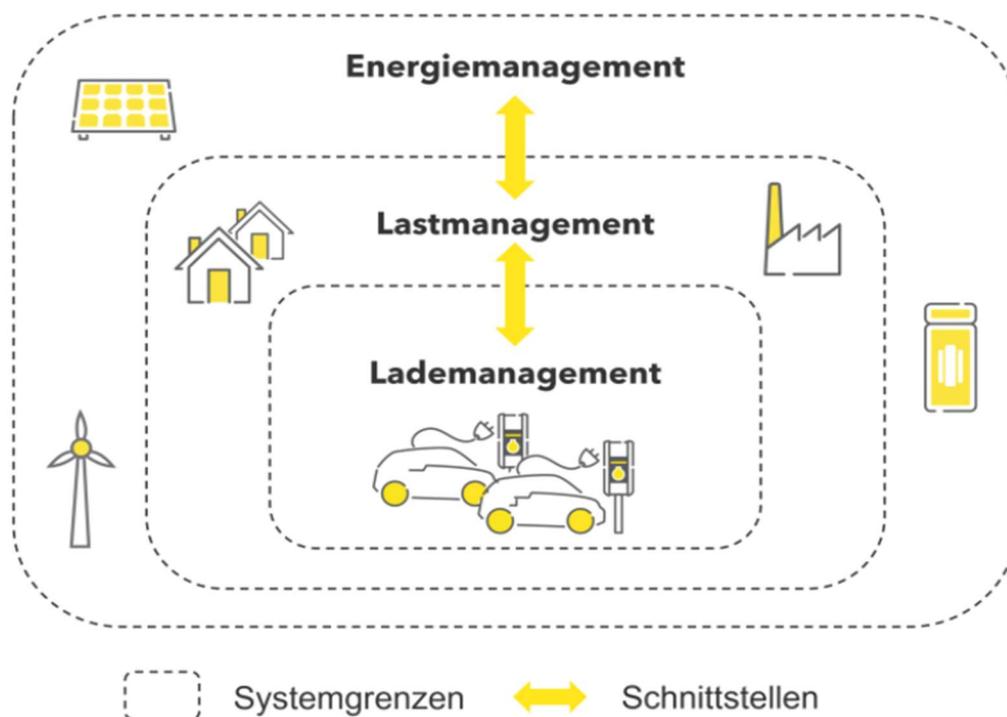


Abbildung 11: Übersicht Energie—Last-, Lademanagement (Quelle [Lade-, Last- & Energiemanagementsysteme von GP JOULE CONNECT \(connect-gp-joule.de\)](https://connect-gp-joule.de))

4.1.1 Energiemanagement

Innerhalb einer Liegenschaft können je nach beteiligten Systemkomponenten verschiedene Energiemanagementsysteme zum Einsatz kommen. Es wird zwischen Energie-, Last- und Lademanagement unterschieden.

Für jeden Standort oder jede Liegenschaft an der Ladeinfrastruktur errichtet werden soll bedeutet dies, dass immer erforderlich ist für jeden Standort zu schauen, welche Art(en) von Managementsystemen zur gezielten Steuerung und Überwachung eingesetzt werden sollten.

Ein Energiemanagementsystem wird zur Steuerung und Überwachung des Energiesystems innerhalb der Liegenschaft eingesetzt. Hierbei werden sowohl die Energieverbraucher, wie z.B. das Gebäude und Ladeinfrastruktur, als auch Energieerzeuger, wie z.B. eine PV-Anlage einbezogen.

4.1.2 Lastmanagement

Mit einem Lastmanagement können innerhalb des Hausanschlusses gezielt elektrische Lasten reduziert oder erhöht werden.

Wird innerhalb einer Liegenschaft eine Ladeinfrastruktur installiert, soll das Lastmanagement vor allem dafür sorgen, dass die vorhandene Anschlusskapazität am Hausanschluss nicht überschritten wird. Dadurch werden Stromausfälle durch eine Netzüberlastung vermieden. In Abbildung 12 ist dieses Prinzip graphisch dargestellt.

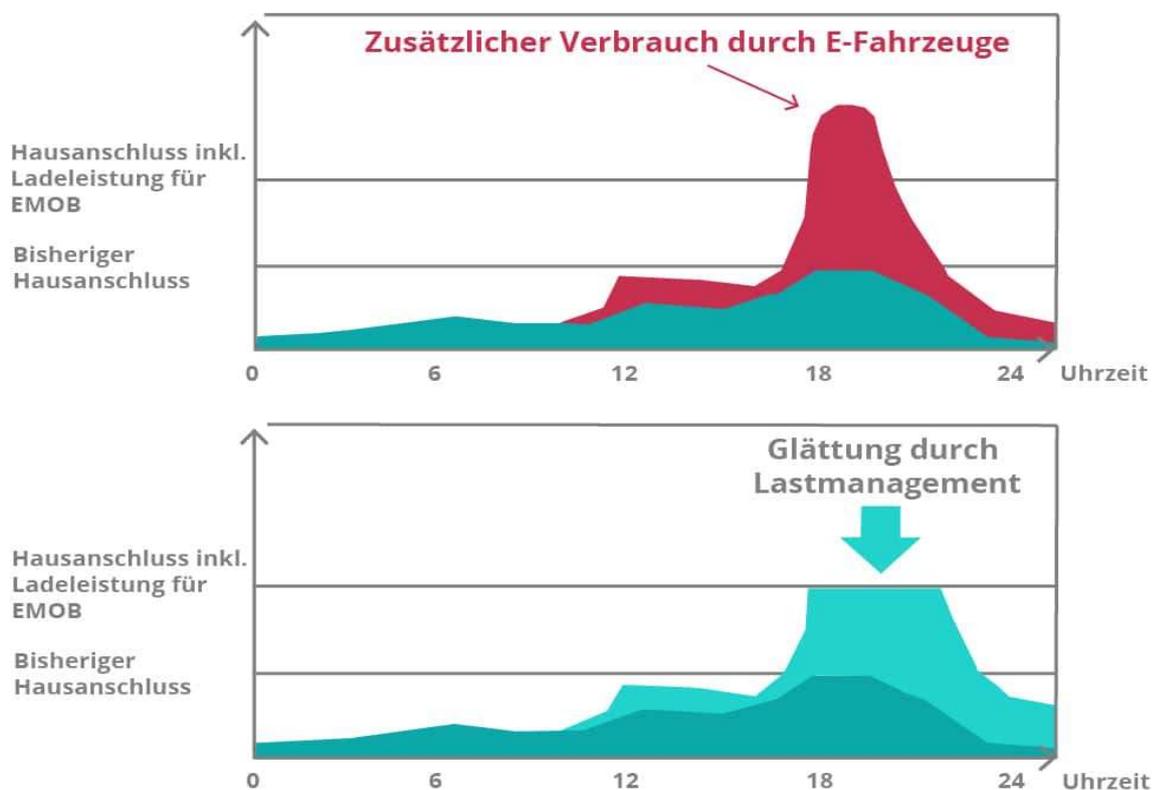


Abbildung 12: Prinzip Lastmanagement (Quelle: Smarte Installation von Ladetechnik in der Tiefgarage (umschalten.de))

In Bezug auf die Elektromobilität wird mit dem Lastmanagement eine gezielte Steuerung des Energiebezugs einer oder mehrere Ladestationen erreicht. Dies kann durch zwei verschiedene Wege erreicht werden: dem statischen oder dem dynamischen Lastmanagement.

4.1.2.1 Statisches Lastmanagement

Innerhalb des statischen Lastmanagement wird einer Ladepunktgruppe ein fixer Maximalwert vorgegeben. Dieser darf nicht überschritten werden, ist jedoch unabhängig vom Hausanschlusswert. Der Maximalwert wird zwischen den einzelnen Ladepunkten aufgeteilt. Soll dies geregelt erfolgen, kann dies über ein Lademanagement (s. 4.1.3) gesteuert werden.

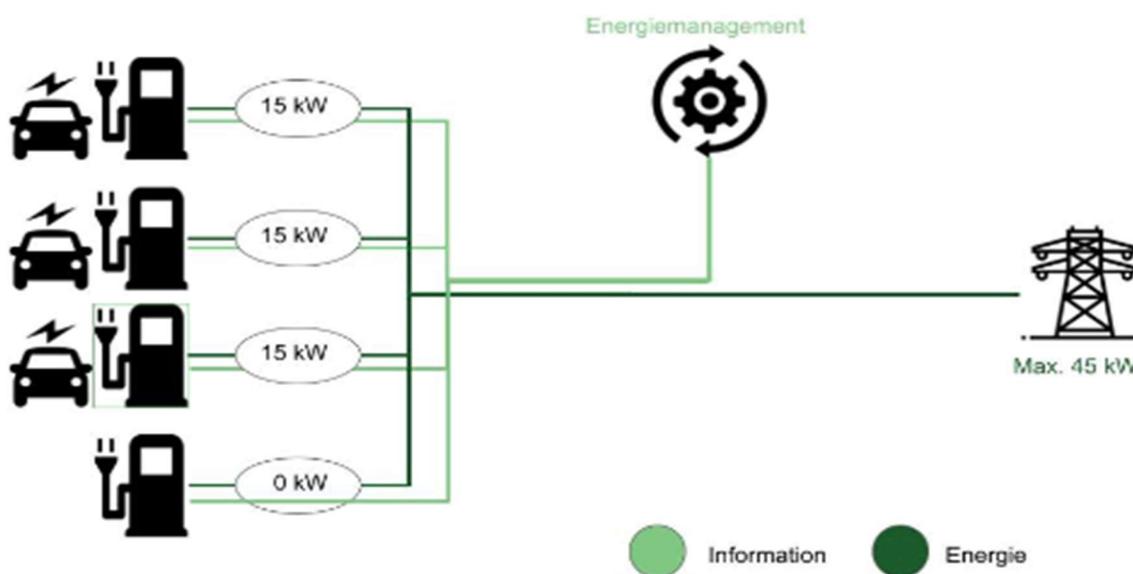


Abbildung 13: Prinzip des statischen Lastmanagements (Quelle: Energiemanagement und Ladeeffizienz - amperio)

4.1.2.2 Dynamisches Lastmanagement

Innerhalb des dynamischen Lastmanagement wird die verfügbare Ladeleistung abhängig von der aktuellen Leistung am Hausanschluss zur Verfügung gestellt. Den Ladepunkten steht mehr Strom zur Verfügung, sobald der Stromverbrauch des Gebäudes sinkt. Eine Software kann unter Berücksichtigung der Stromverbräuche der Liegenschaft die Ladeprozesse an den Ladepunkten regeln. Dies kann unter Einbeziehung der Fahrzeugdaten erfolgen. Dadurch können die Fahrzeuge in Abhängigkeit ihres Bedarfs geladen werden.

Der Ladestrom kann jedoch auch zwischen den einzelnen Ladepunkten aufgeteilt oder durch ein festgelegtes Lademanagement (s. 4.1.3) gesteuert werden. Der Hausanschluss kann mit dem dynamischen Lastmanagement immer bestmöglich ausgenutzt werden.

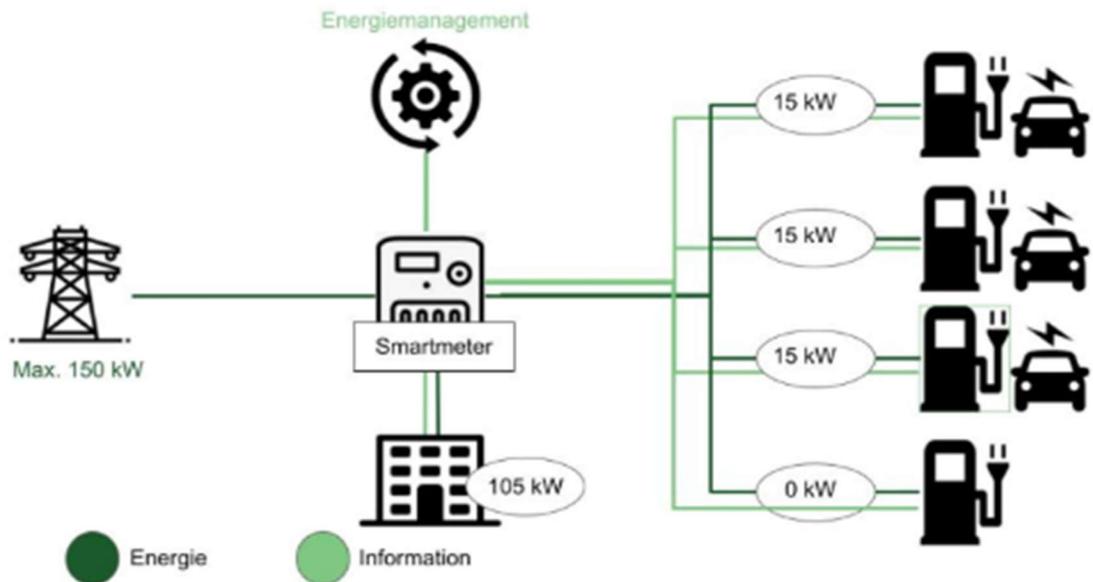


Abbildung 14: Prinzip des dynamischen Lastmanagements (Quelle: [Energiemanagement und Ladeeffizienz - amperio](#))

4.1.3 Lademanagement

Innerhalb des Lastmanagement können die Ladevorgänge auf unterschiedliche Weisen gesteuert werden. Je nach Anforderungen innerhalb des Standortes für die Ladeinfrastruktur kann mit Hilfe einer Software die erforderliche Priorisierung und / oder Lademenge an jedem Ladepunkt einzeln programmiert werden. Bei der Beschaffung der Ladetechnik ist darauf zu achten, dass die erforderlichen Schnittstellen dafür vorhanden sind (s. dazu Punkt 5.2.2).

Es wird unterschieden zwischen sequenziellem, geregelter, partiellem und bedarfsgesteuertem Laden.

Beim sequentiellen Laden wird der Ladestrom durch eine Limitierung der maximal zulässigen Ladevorgänge begrenzt. Sind z.B. 3 Ladevorgänge als Obergrenze eingestellt kann der vierte und jeder weitere Ladevorgang erst starten, wenn einer der 3 Ladevorgänge beendet wird. Bei dieser Variante erfolgen alle Ladevorgänge immer mit einer maximal vorgegebenen Ladeleistung

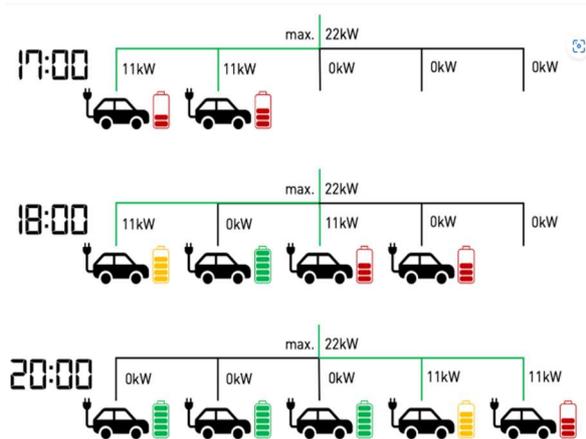


Abbildung 15: Prinzip Sequentielle Ladung bei Elektroautos
(Quelle: „Lastmanagement (Ladestation) – Wikipedia“)

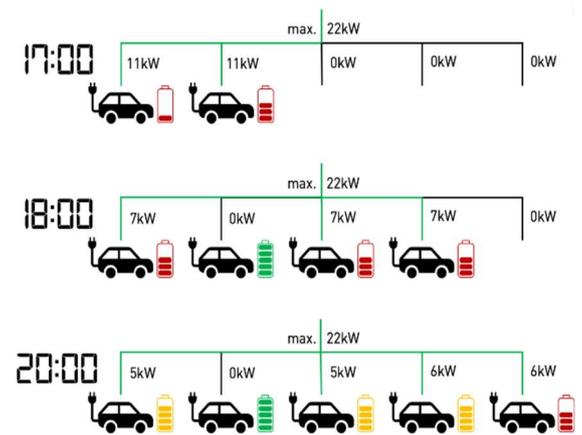


Abbildung 16: Prinzip Geregelte Ladeleistung bei Elektroautos
(Quelle: „Lastmanagement (Ladestation) – Wikipedia“)

Beim Laden mit geregelter Ladeleistung erfolgt die Begrenzung des Ladestroms durch Reduzierung der Ladeleistung an jeder einzelnen Ladestation. Hierbei werden alle Autos an den Ladestationen geladen, jedoch wird die Ladeleistung mit jedem angeschlossenen Auto reduziert. Dadurch dauern die einzelnen Ladevorgänge länger.

Zusätzlich zu den beiden o.g. Managementarten für die Ladestrombegrenzung existieren noch zwei weitere Verfahren: das priorisierte und das bedarfsgesteuerte Laden.

Beim priorisierten Laden wird einer bestimmten Person beziehungsweise Gruppe gestattet die komplette zur Verfügung stehende Leistung für die Ladeinfrastruktur priorisiert zu nutzen. Auch ist es möglich das Lastmanagement auszuhebeln und diesen Nutzer(n) bei Bedarf direkt die maximale Ladeleistung zur Verfügung zu stellen. Die Priorisierung wird in den meisten Fällen Fahrzeugen zugestanden, bei denen es wichtig ist, dass sie schnell wieder aufgeladen und einsatzbereit sind.

Beim bedarfsgesteuerten Laden werden anvisierter Abfahrtszeitpunkt und erforderliche nachzuladende Energiemenge vom Lastmanagement berücksichtigt. Es wird nur die Menge nachgeladen, welche für die nächste anstehende Fahrtstrecke notwendig ist. Der Rest der Energie steht den anderen Fahrzeugen zur Verfügung. Dadurch sind die Nachladevorgänge nur auf die tatsächlich erforderlichen Mengen beschränkt und es ist ausreichend Energie innerhalb der Anschlussleistungsbegrenzung der Liegenschaft für alle erforderlichen Ladevorgänge vorhanden. Durch das Lademanagementsystem wird gesteuert eine zeitliche Priorisierung der Teilnehmer so vorgenommen, dass in den meisten Fällen niemand eine Einschränkung zu spüren bekommt. Das Lademanagement benötigt von den Ladeteilnehmern die Informationen zur

zu erwartenden Fahrstrecke und dem spezifischen Energiebedarf des Fahrzeuges (wieviel kWh werden pro 100 km Wegstrecke verbraucht).

4.2 Empfehlung zur Umsetzung von Ladeinfrastruktur

Auf der einen Seite hat der Aufbau einer Ladeinfrastruktur verschiedene Einflussgrößen welche als limitierende Faktoren agieren können. Andererseits sind derzeit verschiedenen Technologien auf dem Markt, welche eine effiziente Umsetzung unterstützen können.

Mit einem Lade- und Lastmanagement können sowohl Lastspitzen verhindert als auch optimierte Ladevorgänge gestaltet werden, ohne einen Großteil der Standorte mit einer Erweiterung des Hausanschlusses finanziell und zeitlich zu belasten.

Über ein sequenzielles oder geregeltes Lastmanagement können die Bedürfnisse der meisten Verwaltungen nach heutigem Erkenntnisstand gut gesteuert werden.

Es ist unter Umständen sinnstiftend die interne Verkabelung so zu gestalten, dass die Ladepunkte mit mindestens 11 und ggf. für wenige Ladepunkte auch mit 22 kW betrieben werden können.

Anhand der beispielhaft ermittelten Ladezeiten (s.2.1.6) wird ersichtlich, wieviel Zeit am Tag für Laden aufgewendet werden muss. Über eine spielerische Annäherung an die erforderliche Anzahl der Ladepunkte kann und sollte im Sinne der Wirtschaftlichkeit nachgedacht werden.

4.3 Beispielrechnung

Für den Standort des Ministeriums für Seefahrt sollen die Normalladesäulen mit 11 beziehungsweise 22 kW Ladeleistung ohne Hausanschlusserweiterung errichtet werden. Der sichere Betrieb sowohl für das Gebäude als auch die Ladeinfrastruktur kann jedoch nur mit einem entsprechenden Lastmanagement sichergestellt werden. Die Installation einer 50 kW Schnelladesäule wird überdacht. Erfordernis, Kosten und Installationszeiten sind hierbei ausschlaggebende Einflussfaktoren.

Die Installation einer PV-Anlage ist sinnvoll, kann jedoch nur in geringem Maße zur Grundverbrauchstilgung der Liegenschaft beitragen.

Die Ladesäulen werden mit einem priorisiertem Last- und Lademanagement (s.4.1.3) ausgestattet. Dadurch werden die Ladesäule nur in Lastsenken und mit verringerter Leistung angesteuert.

5 Planung, Errichtung und Betrieb der Ladeinfrastruktur

5.1 Planung und Errichtung

Jeder Standort der Institutionen hat individuelle Anforderungen an die Planung und Errichtung der Ladeinfrastruktur. Ein grobes Konzept kann unter Umständen innerhalb der Verwaltung erarbeitet werden. Darüber hinaus kann es sehr hilfreich sein, wenn die Errichtung und der Service / Wartung innerhalb der Gewährleistungsfristen von ein und demselben Unternehmen durchgeführt werden. Innerhalb Thüringens gab es seit 2016 einen Verbund von Thüringer Energieversorgern, welche die Öffentliche Ladeinfrastruktur im Verbund teilweise errichtet und betrieben haben. Federführend innerhalb dieser Kooperation war und ist die TEAG eines dieser Unternehmen.

Zur Unterstützung der geplanten Maßnahmen zur Errichtung von Ladeinfrastruktur kann die Verwaltung sich ggf. an einen der Beteiligten Dienstleister aus diesem Netzwerk heraus wenden.

Ebenfalls kann zur Unterstützung im Planungs- und Errichtungsprozess der „Technische Leitfaden Ladeinfrastruktur Elektromobilität Version 4.1“ (Quelle: [Technischer Leitfaden - Ladeinfrastruktur Elektromobilität \(vde.com\)](#)) gute Hilfestellungen für verschiedenen Fragen bieten.

5.1.1 Verkehrssichere und mechanisch geschützte Errichtung der Ladeinfrastruktur

Die Ladeinfrastruktur kann in unterschiedlichen Arealen installiert werden. Es können Ladepunkte innerhalb von Garagen, Tiefgaragen, an Hauswänden und Außenparkflächen installiert werden.

Für Ladesäulen, die auf Parkplätzen installiert werden, ist es wichtig diese möglichst vor versehentlichem Anfahren zu schützen. Dies kann durch Ausführungen als Beton- oder Edelstahlsäulen mit Bodenverankerung und zusätzlichem Rammschutz erfolgen. Kennzeichnung mit Signalfarben kann zusätzlich als visuelle Unterstützung zum Einsatz kommen.

Ladesäulen in Garagen werden überwiegend an die Wände montiert. Hier sind die o.g. Schutzmaßnahmen meist nicht erforderlich.

Schnelladesäulen sind häufig deutlich größer als herkömmlich Ladesäulen mit 11/22 kW. Sie sind genehmigungspflichtig. Die Verweildauer auf dem dazugehörigen Parkplatz ist meist deutlich kürzer. Dadurch wird ggf. ein höheres Verkehrs- und Unfallaufkommen erzeugt.

Eine separate Kennzeichnung der Parkplätze und Ladesäulen ist im öffentlichen Verkehrsraum verpflichtend. Die meisten Verwaltungen installieren ihre Ladeinfrastruktur auf einem geschlossenen oder beschränkt zugänglichen „Firmengelände“ mit überwiegender Eigennutzung. Dadurch ist eine Markierung an dieser Stelle nicht zwingend erforderlich.

5.2 Betrieb der Ladeinfrastruktur

Der Betrieb der Ladeinfrastruktur umfasst mehrere Aspekte, die sich jedoch in einigen Punkten vom Betrieb einer öffentlichen Ladeinfrastruktur unterscheiden. Wichtig sind die Aspekte der Arbeitssicherheit im Umgang mit elektrischen Betriebsmitteln, die Zugangsberechtigung (Ladeauthentifizierung), die Wartung und unter Umständen das Monitoring.

5.2.1 Arbeits- und Personenschutz

Bei der Errichtung der Ladeinfrastruktur sind die allgemeinen technischen Regeln der Technik zu beachten. Dies werden durch den Planer eingeplant und die Installationsfirma umgesetzt. Wichtige Themen hierbei sind vor allem der Überspannungs- und Brandschutz, teilweise auch der Blitzschutz (je nach Installationsort).

Zusätzlich müssen im Betrieb der Ladesäulen Vorkehrungen bezüglich der Ladeleitungen /-kabel erfolgen. Diese sollten vor jedem Ladevorgang auf sichtbare Schäden kontrolliert werden.

Die allgemeinen Unfallverhütungsvorschriften gelten wie bisher und können mit der Berufsgenossenschaft einmal abgeglichen werden. Bezüglich des Umgangs mit der Ladeinfrastruktur und den Fahrzeugen im Schadensfall sollte bei der zuständigen Berufsgenossenschaft die erforderlichen Gefährdungsbeurteilungen abfragt werden. Der sichere Umgang mit den Fahrzeugen kann innerhalb eines Fahrsicherheitstrainings durch die Mitarbeiter erlangt werden.

5.2.2 Ladeauthentifizierung und Backend

Der Zugriff zu den Ladepunkten kann über verschiedene Zugangsmedien erfolgen. Der Ladepunkt kann frei zugänglich sein, per Schlüsselschalter oder verschiedene RFID-Medien (Radio Frequency Identification) zum Laden freigeschaltet werden. Mit einem RFID-Medium kann auch das externe Laden an öffentlichen Ladesäulen durchgeführt werden. Daher kann dies eine Möglichkeit für die gesamte Verwaltung zur Freischaltung von Ladepunkten sein. Auch die Freischaltung per Mitarbeiterausweis kann eine umsetzbare Möglichkeit sein.

Ein internes Backendsystem zur automatisierten Überwachung von Störungen an den Ladesäulen, die Entsperrung im Notfall beziehungsweise für Besucher und das interne Erfassen von Lade-kWh dienen. Eine Anbindung über das Internet oder ein Cloudbasiertes System kann hierbei umgangen werden. Dadurch kann das interne Cybersicherheitsthema sehr gut beherrscht werden.

Um die Ladepunkte nach der Installation in ein Backendsystem (intern oder extern) einbinden zu können ist es erforderlich, dass die Ladepunkte mit entsprechenden Kommunikationsschnittstellen von Anfang ausgestattet sind. Eine Nachrüstung verursacht meist sehr hohe Folgekosten (tlw. bis hin zum Neupreis der Ladesäule). Hinsichtlich der Kommunikationsschnittstellen sind u.a. auf folgende Kriterien zu achten:

- Kommunikation gem. ISO 15118
- Abdeckung des Open Charge Point Protocol (OCPP) Protokolls (Standard in der Ladeindustrie für die Kommunikation zwischen E-Auto, Ladestation und Backend) / mind. OCPP1.6J
- Möglichkeit für backendseitiges Lastmanagement (OCPP) oder bevorzugt dynamisches Lastmanagement (OCPP 1.6)

Durch das Backendsystem können die Ladepunkte und die Ladevorgänge gemonitort, kontrolliert, überwacht und ausgewertet werden.

Der Mehrwert für die Verwaltung liegt hier darin, dass unter anderem folgende Funktionen ermöglicht werden:

- Statistiken und Auswertungen
- Verbrauchs-/Kostenabrechnung
- Hinterlegung und Anpassung von technischen Parametern
- Fernwartung/Softwareupdates
- Steuerung des Ladepunkts (entriegeln, Ladevorgang starten und stoppen, sperren)
- Nutzer oder Stationen zu priorisieren oder sperren
- Zugangsbeschränkungen einzustellen
- Übersendung von „Status Notifications“ ans Backend
- Konfiguration der wichtigsten Parameter über Web-Interface

Das o.g. RFID – Medium und das Backend sind innerhalb des Fuhrparkmanagements hilfreiche Medien für die fahrzeug- und ladepunktbezogen Übersicht von Stromverbräuchen (z.B. Jahresauswertung), Ladezeiten, Störungen etc.

Mit Hilfe des Backendsystems können Fehler und Störungen nicht nur sichtbar gemacht, sondern teilweise auch per Fernentstörung behoben werden.

5.2.3 Wartung und Service

Das Betreiben von Ladeinfrastruktur bringt für den Betreiber gewisse Pflichten mit sich. Es müssen die Normen der Normenreihe DIN VDE 100 „Errichten von Niederspannungsanlagen“ bei der Planung, Errichtung und Prüfung von Ladeinfrastruktur eingehalten werden.

Regelmäßige Prüfungen können Sicherheitsrisiken, wie Brandgefahr oder Unfälle verhindert werden.

Diese Funktionsprüfungen können durch das Unternehmen, welches die Errichtung durchgeführt hat oder andere spezialisierte Elektrofachfirmen bewerkstelligt werden.

6 Herausforderungen im Fuhrparkmanagement

Neben den vielen Vorteilen der E-Mobilität bringt der Betrieb einer vollelektrisierten Fahrzeugflotte zusätzlich zu den üblichen Herausforderungen des Fuhrparkmanagements wie Reparaturen, Räderwechsel und Wartungen einige Besonderheiten hervor:

- die Fahreinsätze sind mit ausreichend Zeitreserve für das Nachladen vorzusehen
- wo und wann geladen werden kann ist in der Routenplanung zu berücksichtigen
- Prüfung, ob das E-Fahrzeug für den entsprechenden Einsatzzweck geeignet ist
- der effiziente Umgang mit den E-Fahrzeugen ist nicht immer gegeben
- die Fahreinsätze sind weniger zuverlässig planbar als mit herkömmlicher Verbrennertechnologie
- die Ladetechnik muss gewartet und einsatzbereit gehalten werden
- Störungen und Ausfälle in der Ladetechnik müssen rechtzeitig erkannt und behoben werden
- bestehende Ängste und Nichtakzeptanz der Nutzer müssen abgebaut werden
- stetige Marktentwicklungen hinsichtlich Reichweiten sind bei der Beschaffung fortlaufend zu berücksichtigen
- Lieferzeiten der Fahrzeuge sind länger als in der Vergangenheit

7 Fördermittellandschaft

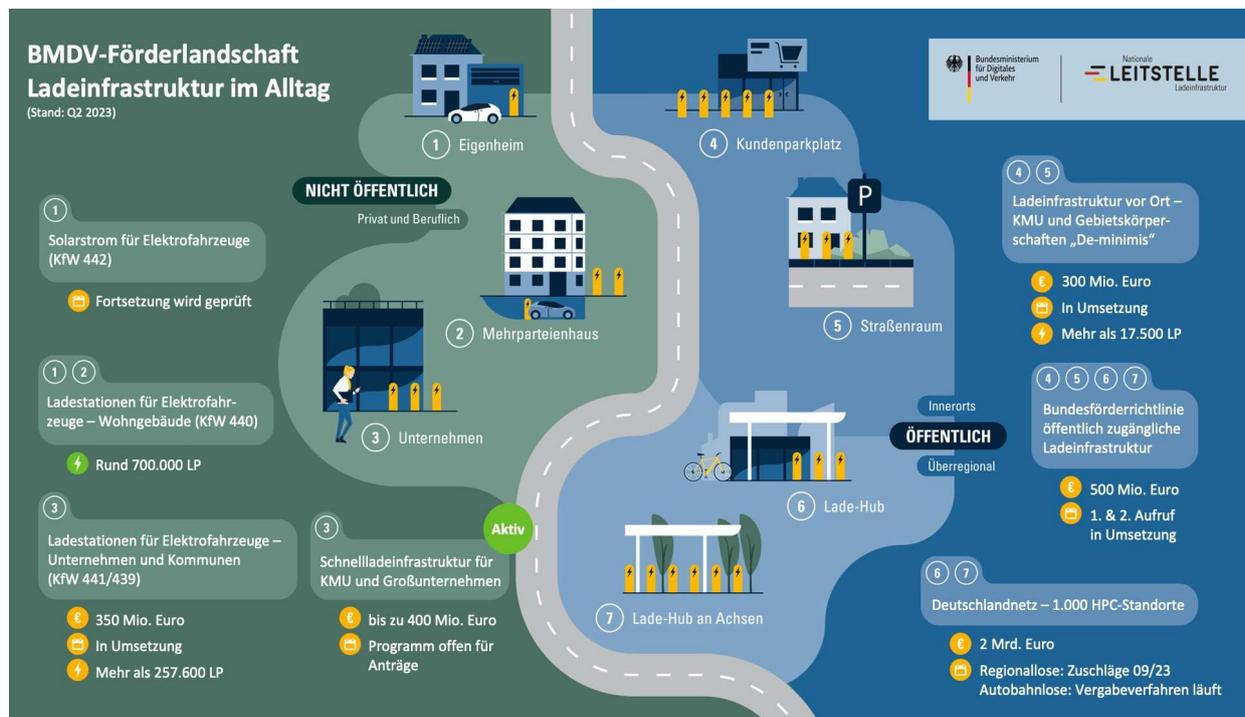


Abbildung 17 Übersicht der bestehenden Fördermittel Stand 11/2023 (Quelle: [Foerderlandschaft-DE_Nov23.jpg](#) (1920x1080) ([nationale-leitstelle.de](#)))

Wie in Abbildung 17 dargestellt wird ersichtlich, dass im Moment die Fördermittellandschaft des Bundes für Ladeinfrastruktur sehr wenig Antragsmöglichkeiten zur Verfügung stellt.

Auch in Thüringen gibt es innerhalb des „E-Mobil Invest“ Förderprogramms derzeit keine Anknüpfungspunkte für eine Antragsstellung.

Die wirtschaftlichen Betrachtungen können daher derzeit nur ohne Fördermittelzuwendungen durchgeführt werden.

8 Anhang

Tabelle 7 Beispielhafte Übersicht der Fuhrparkumstellung inkl. Ladezeiträume, Fahrkilometer und Strombedarf

Pos.	Ressort / Liegenschaft	Kfz-Bezeichnung	Ladezeit je E-Kfz	Batteriekapazität (geschätzt / Hersteller)	Einsatz-tage	Durchschnittl. Laufleistung	Durchschnittl. Laufleistung	Durchschnittl. Verbrauch (geschätzt o. Hersteller)	Strombedarf	Akku durchschnittl. Verbleibend	Ladezeit für tägl. Nachladen					Ladezeit bei 0% Akkustand				
											täglich (von bis) / h / variabel	in kWh	pro Kfz + Jahr	km / Kfz + Jahr	km / Kfz + Tag	kWh/ 100 km	kWh/ Tag	in kWh	mit 11 kW in h	mit 22 kW in h
1	Min. f. Seefahrt	Kleinwagen	8 h, variabel	85	220	20.000	90,91	30	27,27	57,73	3,22	1,61	8,44	9,58	0,71	10,05	5,02	26,31	29,86	2,21
2	Min. f. Seefahrt	Kleinwagen	8 h, variabel	85	220	20.000	90,91	30	27,27	57,73	3,22	1,61	8,44	9,58	0,71	10,05	5,02	26,31	29,86	2,21
3	Min. f. Seefahrt	Kleinwagen	8 h, variabel	85	220	20.000	90,91	30	27,27	57,73	3,22	1,61	8,44	9,58	0,71	10,05	5,02	26,31	29,86	2,21
4	Min. f. Seefahrt	Kleinwagen	8 h, variabel	85	220	25.000	113,64	30	34,09	50,91	4,03	2,01	10,55	11,98	0,89	10,05	5,02	26,31	29,86	2,21
5	Min. f. Seefahrt	Kleinwagen	8 h, variabel	85	220	25.000	113,64	30	34,09	50,91	4,03	2,01	10,55	11,98	0,89	10,05	5,02	26,31	29,86	2,21
6	Min. f. Seefahrt	Kleinwagen	8 h, variabel	85	220	25.000	113,64	30	34,09	50,91	4,03	2,01	10,55	11,98	0,89	10,05	5,02	26,31	29,86	2,21
7	Min. f. Seefahrt	Kleinwagen	8 h, variabel	85	220	25.000	113,64	30	34,09	50,91	4,03	2,01	10,55	11,98	0,89	10,05	5,02	26,31	29,86	2,21
8	Min. f. Seefahrt	Geländewagen	8 h, variabel	90	365	25.000	68,49	30	20,55	69,45	2,43	1,21	6,36	7,22	0,53	10,64	5,32	27,86	31,62	2,34
9	Min. f. Seefahrt	VAN	12 h, 18:00-06:00 Uhr	85	365	25.000	68,49	30	20,55	64,45	2,43	1,21	6,36	7,22	0,53	10,05	5,02	26,31	29,86	2,21
10	Min. f. Seefahrt	VAN	12 h, 18:00-06:00 Uhr	85	365	25.000	68,49	30	20,55	64,45	2,43	1,21	6,36	7,22	0,53	10,05	5,02	26,31	29,86	2,21
11	Min. f. Seefahrt	VAN	12 h, 18:00-06:00 Uhr	85	365	25.000	68,49	30	20,55	64,45	2,43	1,21	6,36	7,22	0,53	10,05	5,02	26,31	29,86	2,21
12	Min. f. Seefahrt	Laster	8 h, variabel	100	220	15.000	68,18	30	20,45	79,55	2,42	1,21	6,33	7,19	0,53	11,82	5,91	30,95	35,14	2,6
13	Min. f. Seefahrt	Laster	8 h, variabel	100	220	15.000	68,18	30	20,45	79,55	2,42	1,21	6,33	7,19	0,53	11,82	5,91	30,95	35,14	2,6
14	Min. f. Seefahrt	Laster	8 h, variabel	100	220	15.000	68,18	30	20,45	79,55	2,42	1,21	6,33	7,19	0,53	11,82	5,91	30,95	35,14	2,6
15	Min. f. Seefahrt	Laster	8 h, variabel	100	365	25.000	68,49	30	20,55	79,45	2,43	1,21	6,36	7,22	0,53	11,82	5,91	30,95	35,14	2,6
16	Min. f. Seefahrt	Laster	8 h, variabel	100	365	25.000	68,49	30	20,55	79,45	2,43	1,21	6,36	7,22	0,53	11,82	5,91	30,95	35,14	2,6
17	Min. f. Seefahrt	Laster	8 h, variabel	100	365	25.000	68,49	30	20,55	79,45	2,43	1,21	6,36	7,22	0,53	11,82	5,91	30,95	35,14	2,6
18	Min. f. Seefahrt	Laster	8 h, variabel	100	365	25.000	68,49	30	20,55	79,45	2,43	1,21	6,36	7,22	0,53	11,82	5,91	30,95	35,14	2,6
19	Min. f. Seefahrt	Laster	8 h, variabel	100	365	25.000	68,49	30	20,55	79,45	2,43	1,21	6,36	7,22	0,53	11,82	5,91	30,95	35,14	2,6
20	Min. f. Seefahrt	Laster	8 h, variabel	100	365	25.000	68,49	30	20,55	79,45	2,43	1,21	6,36	7,22	0,53	11,82	5,91	30,95	35,14	2,6
21	Min. f. Seefahrt	Laster	8 h, variabel	100	365	25.000	68,49	30	20,55	79,45	2,43	1,21	6,36	7,22	0,53	11,82	5,91	30,95	35,14	2,6
22	Min. f. Seefahrt	Kombi	12 h, 18:00-06:00 Uhr	75	365	12.000	32,88	30	9,86	65,14	1,17	0,58	3,05	3,47	0,26	8,86	4,43	23,21	26,35	1,95
23	Min. f. Seefahrt	Kombi	12 h, 18:00-06:00 Uhr	75	365	12.000	32,88	30	9,86	65,14	1,17	0,58	3,05	3,47	0,26	8,86	4,43	23,21	26,35	1,95
24	Min. f. Seefahrt	Kombi	12 h, 18:00-06:00 Uhr	75	365	12.000	32,88	30	9,86	65,14	1,17	0,58	3,05	3,47	0,26	8,86	4,43	23,21	26,35	1,95
25	Min. f. Seefahrt	Kombi	12 h, 18:00-06:00 Uhr	75	365	12.000	32,88	30	9,86	65,14	1,17	0,58	3,05	3,47	0,26	8,86	4,43	23,21	26,35	1,95

	km / Kfz + Tag	kWh/ Tag	Ladezeit für tägl. Nachladen					Ladezeit bei 0% Akkustand													
			11	22	4	3,7	50	11	22	4,2	3,7	50									
Summe durchschnittliche Laufleistung gesamt	1.816,75	545,02																			
Summe Ladezeit Fahrzeuge in h			64,41	32,21	168,70	191,50	14,17	264,73	132,36	693,33	787,03	58,24									
Summe Ladezeit pro Ladepunkt in h			5,15	2,58	13,50	15,32	14,17	21,18	10,59	55,47	62,96	58,24									

Fahrzeuganzahl	25
Verhältnis Fahrzeug zu Ladepunkte (xxx:1)	2,0
Anzahl der Ladepunkte am Standort	13
Anzahl schnellladepunkte bis 50 kW	1

9 Bearbeitung

Dieses Dokument wurde erstellt durch

Thüringer Energie- und GreenTech-Agentur GmbH (ThEGA)
Mainzerhofstraße 10
99084 Erfurt
Deutschland

Projektleitung:

Frau Katy Sengpiel :
Tel.: 0361 5603-392
E-Mail: katy.sengpiel@thega.de

fachliche Projektbegleitung:

Rico Hofmann
Tel.: 0361 5603-294
E-Mail: rico.hofmann@thega.de

Für Rückfragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung.

10 Haftung

Die Betrachtung wurde mit dem Ziel eines energie-, CO₂, -und kostensparenden Fuhrparkmanagement und Ladeinfrastrukturerrichtung nach bestem Wissen und größtmöglicher Sorgfalt zur Unterstützung von Entscheidungen erstellt. Alle Ausführungen stellen freibleibende und unverbindliche Empfehlungen dar. Haftungsansprüche gegen den Verfasser sind ausgeschlossen.