

- Eine Rückspeisung der gespeicherten Energie ins Netz müsste ermöglicht werden, damit eine Erleichterung der Netzführung für die Netzbetreiber und eine Kostenersparnis durch besondere Tarife für die Nutzer der Elektrofahrzeuge erreicht werden.
- Die Zugangs- und Nutzungsmöglichkeit und das Abrechnungssystem müssen einfach bedienbar und handhabbar sein.
- Jede Ladestation muss schnell auffindbar und ohne Wartezeit für den jeweiligen Nutzer einsetzbar sein.
- Die Nutzung der Elektrofahrzeuge muss „chic“ und das Laden der Fahrzeuge muss sich zur Routine entwickeln, so wie es das „heutige Tanken“ ist.

Die Praxis der nächsten Jahre im Umgang mit Elektrofahrzeugen und deren notwendige Ladeinfrastruktur wird zeigen, inwieweit Deutschland auf dem richtigen Wege ist oder ob Korrekturen und Änderungen an der einen oder anderen Stelle erforderlich werden.

Da es in nächster Zeit sicher viel Bewegung in der zunehmenden Anzahl von Ladestationen geben wird und mehrere Betreiber ihre Ladestationen, z. B. über Karten oder Apps anbieten, sei hier nur auf den ADAC verwiesen, der eine große Anzahl im europäischen Raum für seine Mitglieder anbietet, unter www.adac.de/services/e-angebote/adac-e-charge oder der Betreiber www.newmotion.com/de-de/standortloesungen/laden-unterwegs/ladekarte.

6.4 Die Kommunikation zwischen Ladeeinrichtung und Elektrofahrzeug

Steuerung: Im Kapitel 6.3.1 sind ausführlich die Ladebetriebsarten erläutert worden. Abhängig von diesen Ladebetriebsarten ist auch die Kommunikation zwischen der Ladeeinrichtung und dem Elektrofahrzeug. Die Ladung über die „normale“ Steckdose bietet so gut wie keine Kommunikationsmöglichkeit. Besser wird es schon im Modus 2. Dafür schreibt die Norm DIN EN IEC 61851 (**VDE 0122-1**) – siehe Kapitel 2.10 dieses Buchs – eine mobile Einrichtung zur Schutzpegelerhöhung vor. Außerdem ist für die Leistungseinstellung und zur Erfüllung der Sicherheitsanforderungen eine Kommunikationseinrichtung (PWM-Modul, pulsweitenmoduliertes Signal) mit dem Fahrzeug erforderlich. Diese Komponenten sind im In-Cable Control and Protecting Device (IC-CPD; siehe Bild 6.12 dieses Buchs) enthalten. Die fest in das Ladekabel integrierte Box kontrolliert die Schutzleiterverbindung und übermittelt die Ladestromobergrenze an das Fahrzeug. Im Fehlerfall oder bei Spannungsausfall wird der Ladevorgang sofort unterbrochen. Weitere Leistungsmerkmale können in dieser Box enthalten sein, wie ein integrierter Hauptschalter, eine Einstellmöglich-

keit für den max. Ladestrom, ein automatisches Fortsetzen des Ladevorgangs, ein mehrstufiges Temperatur-Management und das Erkennen falscher Verdrahtungen innerhalb des Gesamtsystems.

Aber die optimale Lösung ist sicher die Ladebetriebsart 3, weil diese Betriebsart den höchsten elektrischen Sicherheitsstandard und die bestmögliche Funktionssicherheit bietet. Es kommen fest installierte Ladepunkte, z. B. o. g. Wallboxen oder Ladestationen zum Einsatz, die einerseits fest mit dem Netz über entsprechende Schutzorgane verbunden sind und andererseits von Elektrofachkräften errichtet sind. Das Kommunikationsmodul und die Sicherheitseinrichtungen befinden sich nicht im Ladekabel, sondern sind in der Wallbox oder der Ladestation integriert (selbstverständlich abhängig von der Ausführung, dem Typ der Station). Das PWM-Signal zwischen dem Ladepunkt und dem Elektrofahrzeug ist identisch mit dem bei der Ladebetriebsart 2. Die Kontakte innerhalb der Steckverbindung sind für die Kommunikation verkürzt ausgeführt, sodass die Kommunikation zwischen dem Ladepunkt und dem Fahrzeug erst dann beginnen kann, wenn diese Steckverbindung vollständig geschlossen ist bzw. ist diese Verbindung die erste, die beim Trennen dieser Steckvorrichtung gelöst wird. Erst dann, wenn diese Steckverbindung korrekt geschlossen ist und alle weiteren Sicherheitsmerkmale erfüllt sind, wird die Spannung freigegeben und der Ladevorgang kann beginnen, bzw. wenn die Steckverbindung gelöst ist, wird die Spannung unterbrochen und der Ladevorgang abgebrochen. Bei der Ladebetriebsart 3 wird auch die Stromtragfähigkeit des Ladekabels erkannt. Es lässt sich durch die Elektronik der Ladesteuerung (über fest definierte Widerstandswerte) ermitteln, ob es sich um eine geeignete Ladeleitung mit welcher max. Stromwertvorgabe handelt und inwieweit der Laderegler im Fahrzeug angepasst werden muss. Die Ladesteuerung wird mittels PWM-Signals entscheidend beeinflusst und erkannt, so werden nach DIN EN IEC 61851 (**VDE 0122-1**); siehe Kapitel 2.10 dieses Buchs, z. B. Tabellen 2.37 bis 2.40) fünf Fahrzeugzustände unterschieden:

- A: kein Fahrzeug angeschlossen;
- B: Fahrzeug angeschlossen, aber nicht ladebereit;
- C: Fahrzeug angeschlossen, ladebereit ohne Lüftungsanforderung;
- D: Fahrzeug angeschlossen, ladebereit mit Lüftungsanforderung, wegen gasender Antriebsbatterie in geschlossenen Räumen, zurzeit bei keinem marktüblichen Fahrzeugmodell relevant;
- E: Fehler.

Last- und Energiemanagement: Wie an einigen Stellen dieses Buch bereits angesprochen wurde, stellt die Ladeinfrastruktur in Deutschland im Jahr 2020 noch keine zufriedenstellende Situation für einen evtl. starken Zuwachs der Elektromobilität dar.

„Den Stecker in die Steckdose, laden und dann losfahren“, so stellt sich oft der elektrotechnische Laie die neue Situation mit Elektroautos vor. Aber so einfach ist es denn doch nicht. Schon bei der Errichtung eines Ladepunkts sollte die Elektrofachkraft entsprechend fachmännisch wirken und den Autofahrer gut beraten. Erst recht dann wird die Beratung für die Planung, die Errichtung und den Betrieb durch den Fachmann wichtig, wenn es um die Errichtung mehrerer Ladepunkte oder gar mehrerer Ladestationen innerhalb eines räumlichen Gebietes bzw. zugehörig zu einem Gebäude/Unternehmen oder gar einen Ladepark geht.

Aber auch das Lastmanagement innerhalb des Systems Elektrofahrzeug und Ladeeinrichtung müssen verschiedene Besonderheiten bzw. Unterschiede Berücksichtigung finden. Die DIN EN IEC 61851-1 (VDE 0122-1):2019-12 (Kapitel 2.10 dieses Buchs) gilt für Fahrzeughersteller, aber auch für Hersteller der Ladeinfrastruktur. Im Kapitel 5 dieses Buchs über die Elektrofahrzeuge ist das Balancing angesprochen worden, d. h. der Ausgleich beim Laden einzelner Zellen des Akkus, die nicht überladen werden dürfen, um Schädigungen zu vermeiden. Dieses Balancing wird von dem Hersteller nicht nach dem gleichen Verfahren durchgeführt, sondern es gibt verschiedene Wege, „die nach Rom“ führen und das Lastmanagement muss diese Unterschiede erkennen und richtig werten, damit es nicht beim Laden zu Fehlfunktionen kommt.

Zurück zum Anschluss mehrerer Ladepunkte bzw. Ladestationen. Für die Errichtung der Ladeinfrastruktur gilt es, etliche Punkte zu berücksichtigen, damit die bereitgestellte Leistung optimal auf die Anforderungen der Elektrofahrzeuge abgestimmt ist und der Netzanschlusswert optimiert wird, d. h., die Elektrofachkraft muss erst einmal feststellen, wie hoch der Anschlusswert des jeweiligen Objekts ist und danach die Wünsche der Kunden entsprechend anpassen bzw. eine Veränderung/Ergänzung des Netzanschlusses in die Überlegungen einbeziehen. Aber eine Erhöhung des Anschlusswerts kann für den Stromkunden teuer werden, denn zusätzliche KW in der Lastspitze kann schnell „ins Geld gehen“. In solchen Fällen bietet sich ein dynamisches Lastmanagement an, mit dem sich Lastspitzen kontrollieren oder evtl. auch vermeiden lassen, denn bei der Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge können verschiedene Möglichkeiten genutzt werden. Nicht jedes Auto muss gleichzeitig mit voller Leistung geladen werden, wenn diese z. B. mehrere Stunden vor einem Bürogebäude parken. Deutet sich eine Lastspitze an, können bestimmte Ladesäulen abgeschaltet oder die Grundlast des Gebäudes durch intelligente Steuerung gesenkt werden.

In der **Tabelle 6.22** sind einige Möglichkeiten des Lastmanagements angesprochen. Sind dazu Detailerläuterungen gewünscht, so wird das Buch „*Staudacher, F.: Elektromobilität*. Heidelberg: Hüthig“ empfohlen. Im Kapitel 8 sind dort ausführlich anhand von Beispielen mittels Zeichnungen und Tabellen die einzelnen Alternativen erläutert.

1	Einfache Energieverteilung in einer Ladesäule	Überlastung des Netzanschlusspunkts vermeiden: Bei einer höheren Ladeleistung von zwei Ladepunkten, als der Anschlusswert es ist, kann die Ladeleistung bei gleichzeitiger Nutzung beider Ladepunkte durch einen Umschalter reduziert werden.
2	Lokale Energieverteilung bei der Nutzung mehrerer Ladepunkte	Ziel: Möglichst alle Fahrzeuge sollen an den vorhandenen Ladepunkten laden können, aber bei einem begrenzten Anschlusswert und fehlender Messung der Ladeströme ist dies nur für z. B. 70 % der ladewilligen Nutzer möglich, d. h., ein neu hinzukommender Nutzer muss warten. Dieses schlechte Lastmanagement kann nur in wenigen Fällen genutzt werden.
3	Lokales Energiemanagement mit VIP-Funktionen und Ladeende-Feststellung	Wie der Fall 2, aber durch eine aktuelle Messung der Stromaufnahme jedes Ladepunkts, ist sichergestellt, dass die Last geregelt werden kann und sogar bestimmten Nutzern eine Sonderstellung ermöglicht wird.
4	Übergeordnetes Management über eine Cloud- oder Back-End-Lösung	Ein einheitliches, herstellerunabhängiges Kommunikationsprotokoll nach OCPP (Open Charge Point Protocol) macht es möglich, dass über eine Leitstelle die Zugangskontrolle, die Abrechnung und ein Lastmanagement für verschiedene Ladestationen, auch an mehreren räumlichen Standorten sich managen lassen.
5	Aktives Lastmanagement mit lokaler Verbrauchsanalyse	Eine Vernetzung der einzelnen Ladepunkte und eine Messung der tatsächlichen Ladeleistung und eine Berücksichtigung der möglichen Bordladeleistung ermöglicht ein optimales Lastmanagement.
6	Aktives Lastmanagement mit Schieflastausgleich	Um eine Schieflast zu vermeiden (nach VDE AR-N 4100:2019-04 darf die max. Schieflast 4,6 kVA betragen) wird mit der Strommessung jeder einzelnen Phase und der Kommunikation mit der Steuerung dies verhindert.
7	Lastmanagement mit variabler Anpassung an den aktuellen Gebäudeverbrauch	Berücksichtigung des Lastprofils des jeweiligen Objekts, zu dem der Ladepark zugehörig ist, z. B. Stromverbrauch tagsüber bzw. nachts.
8	Lastmanagement mit variabler Anpassung im Einfamilienhaus	Ein Einfamilienhaus hat meist einen geringen Anschlusswert. Um eine Leistungserhöhung beim NB vermeiden zu können, kann ein Lastmanagement z. B. integriert in einer Wallbox sinnvoll sein.
9	Lastmanagement mit variabler Anpassung im Mehrfamilienhaus/ Wohnanlage	Eine Messung des aktuellen Hausverbrauchs bietet den Vorteil eine bestehende Leistungsreserve für die Ladeinfrastruktur (z. B. in der Nacht) bereitzustellen.
10	Lastmanagement mit variabler Anpassung bei einer Großanlage	Für Großanlagen von mehreren 100 Ladepunkten werden bereits seitens der Hersteller angeboten, dabei müssen detaillierte Konzepte von der Trafostation bis zum einzelnen Ladepunkt geplant werden.

Tabelle 6.22 Möglichkeiten zum Lastmanagement bei der Ladung von Elektrofahrzeugen
(Quelle: *Staudacher, F.*: Elektromobilität. Hüthig, 2020 und DIN EN ISO 15118-3:2016-08)

Musterbeispiel: Ein stabiles Energiemanagement und eine entsprechende benutzerfreundliche Ladeinfrastruktur, das Simple-Charge-System der SSS-Nelken-Unternehmensgruppe, steht für eine neue Generation des Energie- und Lademanagements, mit dem der Energieverbrauch effizient und flexibel gesteuert werden kann.

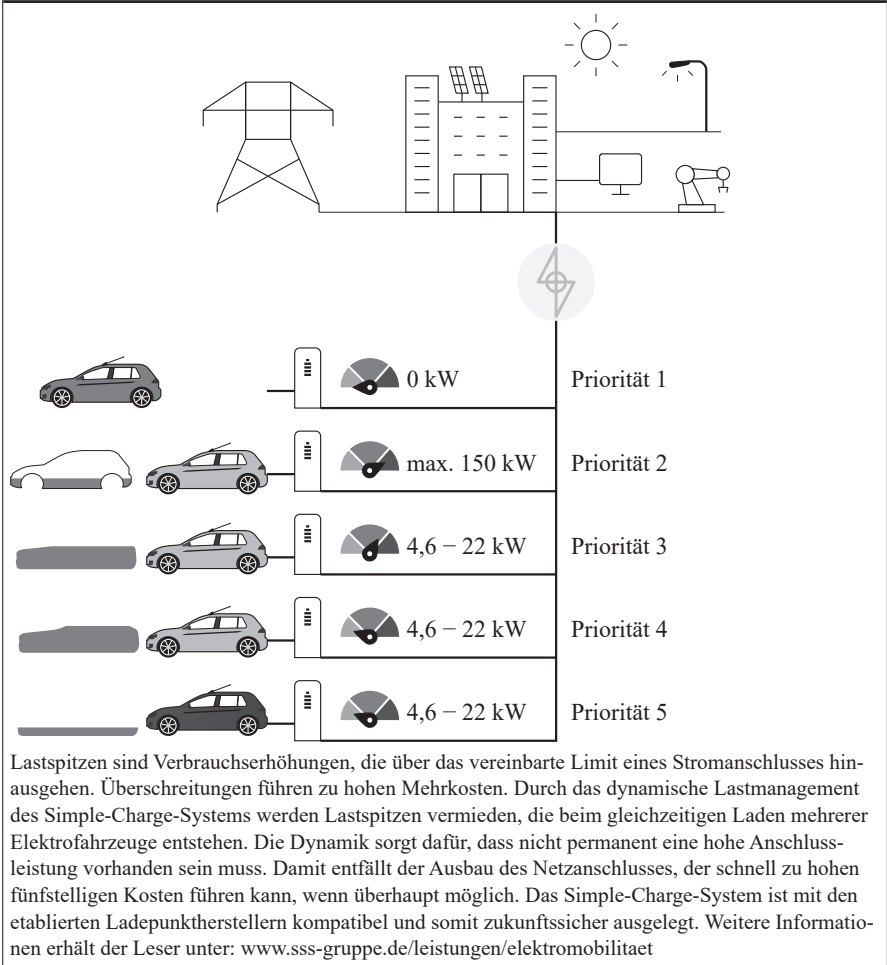


Tabelle 6.23 Musterbeispiel eines Energiemanagementsystems Simple-Charge-System von der SSS-Nelken-Unternehmensgruppe

7 Elektroinstallation

Zusammenfassung: Die Elektrofachkraft ist es gewohnt die Anforderungen aus den DIN-VDE-Normen unter Berücksichtigung der technischen Gegebenheiten des jeweiligen Objekts einzubeziehen, bevor z. B. neue elektrotechnische Anlagen und Betriebsmittel errichtet werden.

Bei der Elektromobilität sind etliche Aspekte neu hinzugekommen, so ist z. B. die Dauerbelastung durch das Laden der Elektrofahrzeuge auch auf die vorgelagerte Elektroinstallation sehr stark zu berücksichtigen und für den Sicherheitsstandard nicht zu unterschätzen. Um einen Überblick zu vereinfachen sind die wesentlichen Punkte für die Elektroinstallation, wie die Ladeleistung, das Hauptstromversorgungssystem, die Ladestromkreise, die Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag, die RCDs, die Auswahl der Betriebsmittel, die Steckverbindungen, die Zählereinrichtungen, die Schutzmaßnahmen für den Überstrom und die Überspannungen und Prüfungen nicht im Fließtext erläutert, sondern zur schnellen Übersicht in verschiedene Bausteine gepackt.

Der Betreiber/Nutzer der elektrischen Anlage eines jeweiligen Objektes muss dafür Sorge tragen, dass die, für die Ladepunkte erforderliche Leistung, bei dem Netzbetreiber angemeldet bzw. sogar genehmigt wird (Kapitel 4 Die Planung). Dies kann über den zu beauftragenden Elektrohandwerksbetrieb erfolgen. Der Netzbetreiber muss dann die beantragte Leistung beurteilen, indem die Bereitstellung der Anschlussleistung auf die Gleichzeitigkeit, die Art der Nutzung und die evtl. Netzurückwirkungen hin bei den regionalen Netzverhältnissen überprüft wird. Bei dem Anschluss von Ladeeinrichtungen für Elektrofahrzeuge ist die Berücksichtigung der Anforderungen aus DIN VDE 0100, alle Teile, insbesondere Teil 722:2019-06; VDE-AR-N 4100:2019-04; VDE-AR-N 4105:2018-11 und VDE-AR-N 4105 Berichtigung 1:2020-10 (siehe Kapitel 2.1, 2.2 und 2.4 dieses Buchs); dringend erforderlich. Im Falle einer Bestandsanlage kann es nötig sein, die Elektroinstallation zu ändern bzw. zu ergänzen (Kapitel 4 „Die Planung“ dieses Buchs), weil diese Anlage evtl. unterdimensioniert sein könnte oder andere Fehler aufweist, sodass die Elektrofachkraft einen Ladepunkt für Elektrofahrzeuge dort nicht anschließen kann. Es gibt also viel zu beachten, wenn ein Ladepunkt für Elektrofahrzeuge errichtet werden soll, egal ob es im privaten, halböffentlichen oder öffentlichen Bereich geschehen muss. Im Nachfolgenden wird ein mögliches Konzept für die Elektroinstallation für Ladeeinrichtungen dargestellt, dass dem Leser nicht nur im Fließtext die wesentlichen

Anforderungen aus den verschiedenen Normen bietet, sondern kurz und plakativ die Anforderungen in Bausteine packt, um der Elektrofachkraft so einen schnellen Überblick zu gewährleisten. Dennoch muss die Elektrofachkraft für den individuellen Einzelfall entscheiden, inwieweit die eine oder andere Ausführung für die jeweilige Errichtung einer Neuanlage, einer Bestandsänderung und Anpassung der Elektroinstallation für die Ladepunkte notwendig ist.

Standorte der Ladeeinrichtungen
<p>Berücksichtigung, ob</p> <ul style="list-style-type: none">• private Ladepunkte, z. B. Wallbox,• halböffentliche/öffentliche Ladestation,• private Garage, Wohngebäude/Firmengebäude/öffentliche Tiefgarage/Tiefgarage von Eigentumswohnungen,• Ladeeinrichtung im Freien,• Entfernung von der Elektroverteilung. <p>Für die Auswahl der Standorte gibt VDI-Richtlinie VDE 2166 Blatt 2:2020-09 (Kapitel 2.8 dieses Buchs) wichtige Hinweise für die Ladeplätze und für Ladepunkte bzw. Ladestationen</p>

Tabelle 7.1 Baustein: Standorte der Ladeeinrichtungen

Anmeldung beim Netzbetreiber
<ul style="list-style-type: none">• Jeder Ladepunkt bzw. Ladestation oder Wallbox ist vor der Errichtung durch die Elektrofachkraft beim jeweiligen Netzbetreiber nach NAV § 19 (2) anzumelden bzw. bei Leistungen > 12 kVA muss die Anschlussleistungen durch den Netzbetreiber genehmigt werden.• Bei einer evtl. Änderung eines bestehenden Netzanschlusses, wie die Erweiterung durch einen Ladepunkt bzw. einer Ladestation für Elektrofahrzeuge muss der Anschlussnehmer für die Anpassung der jeweiligen elektrischen Anlage sorgen. Die Elektrofachkraft ist aufgerufen, dazu Unterstützung zu bieten, denn der „normale“ Autofahrer nur selten von der Vorgehensweise Kenntnis haben.• Erschwerend kommt für den „normalen“ Autofahrer hinzu, dass der Netzbetreiber nicht der Stromlieferant sein muss, d. h. für die Gestaltung des Tarifs ist evtl. ein anderes Unternehmen zuständig.

Tabelle 7.2 Baustein: Anmeldung beim Netzbetreiber

Anschlussleistung

- für die Dimensionierung nach DIN 18015-1 muss die Anschlussleistung aller im jeweiligen Gebäude vorhandener elektrischer Betriebs- und Verbrauchsmittel bekannt bzw. durch die Elektrofachkraft ermittelt werden, um dann mit der benötigten Ladeleistung zur gesamten Anschlussleistung zu gelangen.
- nach NAV § 19 sind Betriebs- und Verbrauchsmittel so zu betreiben, dass Störungen der Netze und auf andere Kundenanlagen ausgeschlossen sind
- die elektrische Versorgung eines Ladepunkts ist für die vorgesehene bzw. notwendige Ladebetriebsart zu bemessen (**Tabelle 7.4**)
- nach VDE-AR-N 4100:2018-11 und der TAB ist für den einphasigen Betrieb nur ein max. Ladestrom von 20 A (4,6 kW) zulässig.
- Die Elektrofachkraft sollte den evtl. Wunsch des Nutzers nach der Notwendigkeit einer hohen Anschlussleistung hinterfragen, denn eine hohe Anschlussleistung, z. B. Wallbox 22 kW, ist nicht in jedem Fall erforderlich, denn die Ladung wird begrenzt durch die Leistungsaufnahme des Fahrzeugs, z. B. 7,4 kW, da hilft eine evtl. höhere Anschlussleistung nicht, es sei denn, der Nutzer will Reserve schaffen für den späteren Anschluss eines anderen Fahrzeugs.

Tabelle 7.3 Baustein: Anschlussleistung

Hauptstromversorgungssystem

- die Ladeeinrichtung für Elektrofahrzeuge stellt im Dauerbetrieb einen wesentlichen Belastungsschwerpunkt innerhalb der Gesamtanlage dar, daher ist bei der Errichtung streng auf die Anforderungen der VDE-Anwendungsregel VDE-AR-N 4100:2019-04 zu achten. Da die Ladeeinrichtungen häufig in Garagen (unterschiedliche Gebäudeteile möglich) bzw. auf Außenstellplätzen errichtet werden, ist auf die Leitungsführung zum Hauptverteiler zu achten, denn in der Regel VDE-AR-N 4100 wird gefordert, dass die Leitungen durch allgemein, leicht zugängliche Räume geführt werden müssen und die Zuordnung zu den jeweiligen Anschlussnutzeranlagen eindeutig und dauerhaft zu kennzeichnen ist. Für die Dimensionierung des Hauptstromversorgungssystems gilt DIN 18015-1:2020-05 (siehe Kapitel 2.7)

Tabelle 7.4 Baustein: Hauptstromversorgungssystem

Ladestromkreise und Bemessungsdaten *)			
Art des Ladepunkts	Art des Ladestromkreises	Ladebetriebsart nach DIN EN 61851 (VDE 0122)	Typischer Ladestrom
Schutzkontakt-Steckdose 230 V/16 A	einphasig 230 V	1	bis 12 A
CEE-Steckdose 230 V/16 A	einphasig 230 V	1	bis 16 A
CEE-Steckdose 400 V/32 A	dreiphasig 400 V	1	bis 32 A
IC-CPD	einphasig 230 V oder dreiphasig 400 V	2	bis 32 A
Wallbox	ein- und dreiphasig 400 V	3	bis 32 A

*) Bei den Daten handelt es sich um Ladepunkte auf privaten Grundstücken, Garagen, Carports u. Ä., Mehrfamilienhäuser mit eigenen Parkräumen und allgemein zugänglichen Bereichen mit Ladeleistungen bis 22 kW; Ladestationen und DC-Schnellladestationen müssen gesondert betrachtet werden.

Tabelle 7.5 Baustein: Ladestromkreise und Bemessungsdaten

Gleichzeitigkeitsfaktor
<ul style="list-style-type: none"> • bei den Ladepunkten handelt es sich um eine Dauerbelastung, da der Ladepunkt eines Elektrofahrzeugs mit der Nennleistung über mehrere Stunden betrieben werden kann • Sollen mehrere Ladepunkte aus einer Hauptverteilung heraus versorgt werden, muss bei gleichzeitiger Nutzung der Gleichzeitigkeitsfaktor 1 berücksichtigt werden oder ein Auflademanagement ist vorhanden und regelt sicher die Summe der Lastströme, sodass eine Reduktion des Gleichzeitigkeitsfaktors kleiner 1 möglich ist. • üblicherweise liegt der Gleichzeitigkeitsfaktor in Einfamilienhäusern bei 0,4 und bei Mehrfamilienhäusern bei etwa 0,6, d. h. die Gesamtleistung des Objekts kann um diesen Faktor reduziert werden, das gilt aber nicht für Ladepunkte, wegen der Dauerlast über mehrere Stunden und dies wiederholt.

Tabelle 7.6 Baustein: Gleichzeitigkeitsfaktor

Spannungsfall	
<ul style="list-style-type: none"> • unter Berücksichtigung der Leitungslängen, der Leiterquerschnitte, des spezifischen Leiterwiderstands und der Gleichzeitigkeitsfaktoren ist der Spannungsfall zu ermitteln nach DIN VDE 0100-100 und DIN VDE 0100-520; es ist zu beachten, dass auch zwischen dem Ladepunkt und dem Fahrzeug am Ladekabel ein Spannungsfall auftritt. • DIN VDE 0100-100: Bei der Ermittlung der Leitungsquerschnitte muss der zulässige Spannungsfall berücksichtigt werden. • DIN VDE 0100-520, Tabelle G.52.1; vom Schnittpunkt des Verteilungsnetzes und Verbraucheranlage bis zum Anschlusspunkt des Ladepunkts nicht größer als 5 % • Ein größerer Leitungsquerschnitt von der Hauptverteilung zum Ladepunkt verringert den Spannungsfall und verbessert bei den langen Ladebetriebszeiten die Energieeffizienz 	
Spannungsart	Berechnungsformel
Gleichstrom	$\Delta U = \frac{2 \cdot l \cdot I}{\kappa \cdot S} = \frac{2 \cdot l \cdot P}{\kappa \cdot S \cdot U}$
Einphasen-Wechselstrom	$\Delta U = \frac{2 \cdot l \cdot I}{\kappa \cdot S} \cdot \cos \varphi = I \cdot 2 \cdot l (R \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)$
Drehstrom	$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot l \cdot I}{\kappa \cdot S} \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot l \cdot I (R \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)$
prozentualer Spannungsfall	$\varepsilon = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100 \%$
<p>ΔU Spannungsfall in V, ε prozentualer Spannungsfall in %, l Leitungslänge in m bei Berechnung mit κ, in km bei Berechnung mit R und x, I Strom in A, S Querschnitt in mm^2, P Wirkleistung in kW, κ spezifische Leitfähigkeit in $\text{m}/(\Omega\text{mm}^2)$, U Nennspannung in V, R ohmscher Widerstand in Ω/km bei 20°C, x induktiver Widerstand in Ω/km, φ Phasenverschiebung</p>	
Gleichungen für die Berechnung des Spannungsfalls	

Tabelle 7.7 Baustein: Spannungsfall

Symmetrie

- Ungleichmäßige Scheinleistungen zwischen den Außenleitern und einem Außenleiter und dem Neutralleiter beeinflussen die Netzstabilität durch Unsymmetrie negativ.
- Nach DIN 18015-1:2020-05 müssen Ladeeinrichtungen für Elektrofahrzeuge symmetrisch angeschlossen werden, die VDE-Anwendungsregel VDE-AR-N 4100:2019-04 ist zu beachten, danach dürfen Ladeeinrichtungen mit einer Bemessungsleistung von $\leq 4,6$ kVA einphasig angeschlossen werden, sind jedoch auf max. drei Einrichtungen mit jeweils $\leq 4,6$ kVA begrenzt. Der Anschluss erfolgt an einen Außenleiter. Bei den Ladeeinrichtungen handelt es sich um Anlagen mit Dauerlastverhalten, daher darf der Netzbetreiber den zu verwendenden Außenleiter vorgeben (Erinnerung: Anmeldung der Ladeeinrichtung an den Netzbetreiber).
- Ladeleistungen von $> 4,6$ kW müssen dreiphasig angeschlossen werden, damit unsymmetrische Belastungen in den Niederspannungsnetzen vermieden werden; bei Ladeeinrichtungen $> 4,6$ kVA muss an der Übergabestelle eine Symmetrieeinrichtung errichtet sein. Für die Einhaltung der Symmetriebedingungen ist der gleitende 1-min-Leistungswert zugrunde zu legen. Weitere Details zur Symmetrieeinrichtung können demnächst (zurzeit in Bearbeitung) einem FNN-Hinweis zu diesem Thema entnommen werden.
- Beim AC-Laden und beim DC-Laden werden die Symmetrie-Anforderungen innerhalb der Ladeeinrichtung sichergestellt, z. B. im AC-Ladepunkt durch die Kommunikation zwischen der Wallbox und mit dem Elektrofahrzeug über den Pilotkontakt.

Tabelle 7.8 Baustein: Symmetrie

System der Erdverbindung

- Nach DIN VDE 0100-100: Es müssen Schutzvorkehrungen getroffen werden, die bei der Art der Stromversorgung, z. B. nach unterschiedlicher Art der Erdverbindung erforderlich sind.
- Nach DIN VDE 0100-722:2019-06 darf der Stromkreis, der den Ladepunkt versorgt, keinen PEN-Leiter enthalten, d. h., es handelt sich um ein TN-S-System, denn der Ladepunkt ist Teil der ortsfesten Anlage und je nach Ladebetriebsart kann ein Teil des Ladepunkts aus einem Stecker mit einer flexiblen Ladeleitung bestehen und für flexible Leitungen sind PEN-Leiter nicht erlaubt, also TN-S-System oder die Anwendung der Schutzmaßnahme Schutztrennung (**Tabelle 7.10**).
- Ebenfalls nach DIN VDE 0100-722:2019-06 sind für IT-Systeme Isolationsüberwachungsgeräte (IMDs) einzusetzen, und zwar dann, wenn keine Schutzvorrichtung zum Unterbrechen des Stromkreises beim ersten Erdschluss vorhanden ist. Das IMD kann Teil des Ladepunkts (Wallbox) sein, ist dies nicht der Fall, empfiehlt die Norm: IMD mit folgenden Ansprechwerten:

Vorwarnung: fällt der Isolationswiderstand unter $300 \Omega/V$: akustisches Warnsignal, der laufende Ladezyklus kann abgeschlossen werden, danach Abschaltung;

Alarm: fällt der Isolationswiderstand unter $100 \Omega/V$: akustisches Warnsignal, der laufende Ladezyklus muss innerhalb von 10 s abschalten;

Anmerkung zur Isolationsfehlersuche: Im Teil 722 der DIN VDE 0100 wird die Versorgung von mehr als einem Elektrofahrzeug über denselben ungeerdeten Stromkreis empfohlen Geräte nach DIN EN 61557-9 (**VDE 0413-9**) zu verwenden.

Tabelle 7.9 Baustein: System der Erdverbindung