



Noch immer dauert es wesentlich länger, den Akku eines Elektroautos aufzuladen, als den Tank eines Verbrennungsmotors mit Diesel oder Benzin zu füllen.

## Aufgeladen unterwegs

Elektroautos lassen sich an der heimischen Steckdose und an Ladesäulen aufladen – und zukünftig vielleicht an induktiven Ladestationen.

Ulrich Kilian

Das Elektroauto spielt eine wichtige Rolle für die emissionsarme Mobilität der Zukunft, führt aber in Deutschland noch immer ein Nischendasein. Der höhere Anschaffungspreis und die Limitierung der Reichweite schrecken wohl ebenso ab wie die Fragen, wo sich der Akku aufladen lässt und wie lange dies dauert. Letzteres hängt vor allem davon ab, welche Leistung für den Ladevorgang zur Verfügung steht. Allerdings ergibt sich die Ladedauer nicht einfach aus dem Verhältnis von Akkukapazität und Ladeleistung.

Der Ladevorgang verläuft umso langsamer, je weiter er voranschreitet. Zunächst fließt ein konstanter Strom,

danach bleibt die Spannung konstant. Doch Lithium-Ionen-Akkus reagieren sehr empfindlich auf die Spannung. Damit der Autoakku unversehrt bleibt, muss die Ladeschlussspannung 4,2 V betragen mit einer Genauigkeit von 50 mV; die untere Grenze liegt bei 2,5 V. Mit maximaler Spannung lässt sich nur ein Ladezustand zwischen 50 und 80 Prozent erreichen.

Damit beim Aufladen die Lithium-Ionen zur Graphit-Elektrode wandern, muss eine Gleichspannung anliegen. Das Stromnetz bietet aber nur Wechselspannung an, sodass ein Gleichrichter nötig ist. Dieser befindet sich im Auto und erlaubt ein Aufladen

an der heimischen Steckdose oder Ladesäule (Wallbox). Auch öffentliche Ladesäulen mit einer typischen Leistung zwischen 22 und 42 kW arbeiten mit Wechselspannung. Für höhere Leistungen, wie bei Schnellladesäulen oder den Superchargern von Tesla, befindet sich der Gleichrichter in der Ladesäule: Dort sind größere Bauformen und bessere Kühlung möglich, sodass höhere Leistungen übertragbar sind (**Tabelle**).

Für Wallbox und öffentliche Ladesäule hat sich in Europa der sogenannte Typ-2-Stecker etabliert. Er eignet sich für Ladeströme zwischen 13 und 63 A. Der Stecker umfasst sieben Kontakte: fünf Standardanschlüsse für Drehstrom (Nullleiter, Erdung, Phase L1 bis L3), eine Datenleitung zur Kontrolle des Ladevorgangs und den Kontakt zum Erkennen des Ladekabels (**Abb. 1**). Mit letzterem prüfen Ladestation und Auto, welchen Querschnitt die Kabelleitungen besitzen bzw. wie stark das Kabel belastbar ist. Über die Datenleitung kommunizieren Ladestation und Elektroauto: Der Ladevorgang beginnt erst, sobald das Auto sich als ladebereit meldet. Dabei fragt das Auto ständig ab, welchen Strom die Station maximal anbietet.

### Verschiedene Lademöglichkeiten

Ladestation	Leistung	Ladedauer	Charakteristika
Haushaltssteckdose	ab 2,3 kW	8 bis 14 Std.	akkuschonend
Wallbox	2,3 bis 22 kW	4 bis 6 Std.	mit Typ-2-Stecker
öffentliche Ladesäule	11 bis 22 kW	2 bis 4 Std.	mit Typ-2-Stecker
Schnellladesäulen	50 kW	0,5 bis 1 Std.	Gleichstrom, CCS oder CHAdeMo
Tesla Supercharger	150 kW	20 Min.	Gleichstrom, nur Tesla, hohe Kapazität
Porsche Turbo Charging	220 kW	< 20 Min.	Gleichstrom, CCS, hohe Kapazität

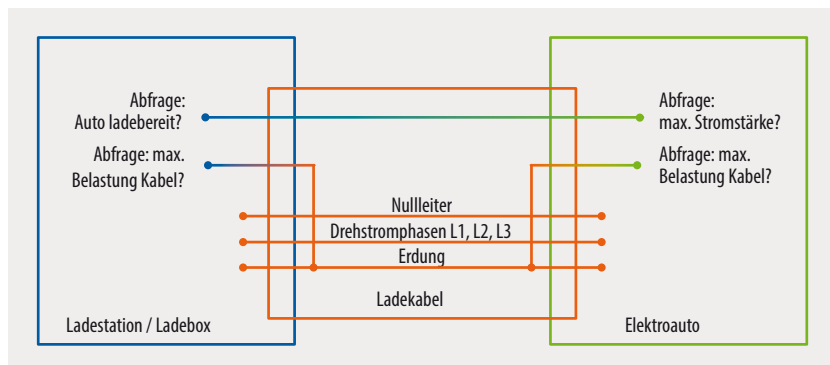
**Tabelle** Das Aufladen des Akkus mit Gleichstrom ermöglicht eine höhere Leistung und damit kürzere Ladedauern. Bei Tesla befindet sich der Gleichrichter im Supercharger, nicht im Auto.

Der Wert ist in einem Rechtecksignal mit einer Frequenz von 1 kHz kodiert: So entspricht eine Pulsweite von 50 Prozent einem Strom von 30 A. Die Anzahl verfügbarer Phasen wird nicht angegeben, obwohl sie die Ladeleistung beeinflusst: Ein Strom von 16 A entspricht dreiphasig 11 kW, einphasig aber nur 3,7 kW. Letzteres ähnelt etwa dem Aufladen an der Haushaltssteckdose. Zwei zusätzliche Kontakte erweitern den Typ-2-Stecker zum Combined Charging System (CCS), mit dem auch Gleichstrom zu laden ist. Das macht die Kabel sehr steif und schwer, sodass sie fest mit der Ladesäule verbunden sind. Asiatische Hersteller bevorzugen das japanische Gleichstromsystem CHAdeMO.

Elektroautos der Marke Tesla sind nur an den firmeneigenen Superchargern aufzuladen. Ein Tesla hat keinen Gleichrichter an Bord, braucht also Gleichstrom aus der Ladesäule. Das kalifornische Unternehmen setzt mit den Superchargern auf Schnelligkeit und Komfort: Das Aufladen soll nicht länger dauern als das Tanken. Auch Tesla und Supercharger tauschen Kenndaten wie Ladezustand und maximalen Ladestrom aus. Das Auto steuert den Ladevorgang, der Supercharger regelt Strom und Spannung. Die aktuelle Generation „V2“ gibt bis zu 150 kW Leistung ab; die nächste Generation „V3“ mit bis zu 250 kW Leistung könnte bei einem 75-kWh-Akku die Ladedauer auf 20 Minuten reduzieren.

### Statt Kabel induktiv

Noch praktischer wäre es, den Akku berührungslos aufzuladen. Solche Systeme gibt es bereits für elektrische Zahnbürsten und Smartphones. Obwohl das deutlich weniger Leistung benötigt, bleibt das Prinzip des kabellosen induktiven Ladens auch bei Elektrofahrzeugen gleich. Auf der Eingangsseite eines Resonanzkreises fließt ein Wechselstrom und erzeugt ein alternierendes Magnetfeld. Dieses induziert in der Empfängerspule einen Wechselstrom, der anschließend gleichgerichtet wird und den Akku auflädt. Eine hohe Ladeleistung erfordert ein großes Magnetfeld und damit einen hohen Strom am Sender.



**Abb. 1** Das Ladekabel (orange) stellt neben den fünf Anschlüssen für Drehstrom Datenleitungen zur Kommunikation zwischen Ladestation (blau) und Elektroauto (grün) bereit.

Daher nutzt der meist digitale Regelkreis eine Schaltfrequenz nahe der Resonanzfrequenz aus.

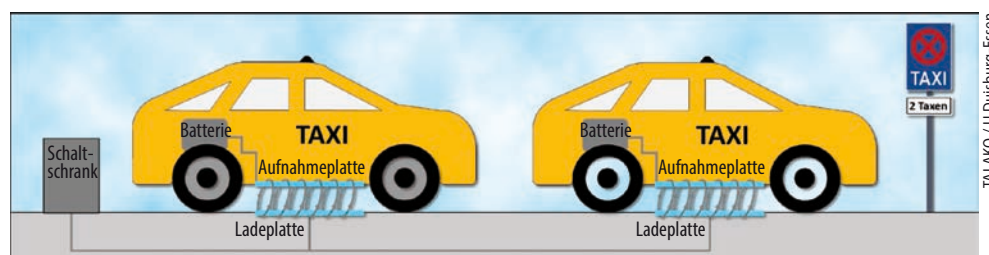
Der Kopplungsfaktor der beiden Spulen hängt auch vom Abstand ab, also dem Luftspalt zwischen Straßenniveau und Fahrzeugboden. Ist der Faktor deutlich kleiner Eins, gibt es Streuinduktivitäten: Die magnetische Flussdichte in der Umgebung der beiden Spulen ist nicht vernachlässigbar. Diese Blindleistung lässt sich durch Kondensatoren kompensieren, die mit den Spulen einen Schwingkreis bilden. Sind diese bei der Betriebsfrequenz in Resonanz, verlieren die Streuinduktivitäten ihre Wirkung: Die Leistungsübertragung erreicht trotz geringer Kopplung einen Wirkungsgrad von 80 Prozent und mehr. Dafür sind Frequenzen zwischen zehn und mehreren hundert Kilohertz nötig; Sender und Empfänger müssen abstimbar sein. Denn in der Praxis befindet sich das Fahrzeug nur selten an der idealen Ladeposition. Außerdem beeinflussen metallische Gegenstände in der Umgebung und die Temperatur die Resonanzfrequenz. Sobald Strom und Spannung im Schwingkreis nicht mehr in Phase sind, wird nachjustiert.

Bei induktiven Ladestationen an öffentlich zugänglichen Orten gilt es

wegen der magnetischen Wechselfelder, die Gesundheit von Passanten zu schützen und andere elektrische Geräte nicht zu beeinträchtigen. Dazu lenken Materialien wie Aluminium und Ferrit-Elemente den magnetischen Fluss in der Umgebung des Spulenpaares ab. Für das induktive Laden gibt es einige Pilot- und Forschungsprojekte. Sie decken Situationen ab, für welche das Laden per Kabel sehr unpraktisch ist – etwa am Taxistand mit ständig nachrückenden Fahrzeugen (**Abb. 2**). Da Taxis überwiegend kurze Strecke fahren, ist das Laden während der Standzeiten sinnvoll. Beispielsweise hat die Universität Duisburg-Essen einen induktiven Ladestreifen mit einer Ladeleistung von 22 kW entwickelt, der an ein spezielles Elektroauto mit 130 Kilometern Reichweite angepasst ist.<sup>#)</sup> Auch am Hauptbahnhof Hannover läuft ein Test für ein induktives Ladesystem.

Unabhängig vom Verfahren sollte das Aufladen von Elektroautos in Zukunft kein Problem mehr darstellen. Die technischen Lösungen liegen vor – nun gilt es, diese großflächig und in einem dichten Netz anzubieten.

<sup>#)</sup> TALAKO (Taxi-Lade-Konzept für den öffentlichen Raum): [www.uni-due.de/iam/talako.php](http://www.uni-due.de/iam/talako.php)



**Abb. 2** Beim induktiven Laden regt das magnetische Wechselfeld der Ladeplatte in der Aufnahmeplatte einen Strom an, welcher den Akku des Fahrzeugs auflädt.