

Elektronik

elektroniknet.de

Mai 2015 12,80 €

*lighting*

Fachmedium für LED-Beleuchtung

# Licht und Strom aus der Leuchte

von

**Prof. Dr.-Ing. Peter Marx**



Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge:

## Licht und Strom aus der Leuchte

**Der Anteil an Elektroautos ist in Deutschland nach wie vor sehr gering. Um mehr rein elektrisch betriebene Fahrzeuge auf die Straßen zu bringen, muss auch eine entsprechende Infrastruktur geschaffen werden. Ein mögliches Konzept wird hier vorgestellt.**

Von Prof. Dr.-Ing. Peter Marx

**E**lektroautos werden immer besser, aber die Ladeinfrastruktur ist noch nicht zufriedenstellend. Es gibt weder einen einheitlichen Ladestecker-Standard noch ein einfaches, überregional funktionierendes Bezahlsystem. So fällt Deutschland bei der Infrastruktur hinter andere europäische Staaten wie die Niederlande und Norwegen zurück. Für den Elektroantrieb sprechen die begrenzten Ölreserven und hohe Kraftstoffpreise. Während die Stromkosten bei einem Elektroauto für 100 km Fahrstrecke bei etwa 3,75 Euro liegen, be-

nötigt ein Mittelklasse-Pkw für dieselbe Fahrstrecke Benzin für mehr als 10 Euro.

Elektrofahrzeuge brauchen eine eigene Ladeinfrastruktur. Doch wer soll diese aufbauen: Die Energieversorger, der Bund, die Länder, die Kommunen oder die Mineralölkonzerne? Soll die Abrechnung am Ladepunkt oder mobil im Auto stattfinden? Welche Geschäftsmodelle lassen sich finden? Es gibt zwei unterschiedliche Ladeszenarien: Langsames Aufladen von Elektrofahrzeugen über eine längere Zeitspanne am Wohnort oder am Arbeitsplatz mittels einpha-

siger Netzspannung mit 230 V oder schnelles Laden an öffentlichen universellen Ladestationen mit 500 V Gleichspannung bzw. dreiphasiger Wechselspannung mit 400/230 V, also mit Drehstrom. Ein möglicher Schlüssel zum Erfolg der Elektromobilität ist, die Ladestationen dort zu haben, wo Autos lange stehen: Auf Behörden- und Firmenparkplätzen, auf privaten Grundstücken und im öffentlichen Raum sowie in Wohnstraßen.

Die Nationale Plattform Elektromobilität, das Beratergremium der Bundesregierung, fordert für jedes Elektroauto eine Lademöglichkeit. Da stellt sich die Frage, ob und wie sich diese Forderung realisieren lässt.

### Kombi-Straßenleuchten

In Berlin befinden sich etwa 190.000 elektrische Straßenlaternen, in Deutschland sind es insgesamt rund 9 Millionen.

Selux stellt in Kooperation mit Vieweg und Ebee Smart Technologies für den öffentlichen, halböffentlichen und privaten Raum Außenleuchten mit Ladestationen für Elektrofahrzeuge her, um auf diese Weise Ladepunkte für die zahlreichen Laternenparker bereitzustellen. Die Kombination von Leuchten mit Ladestationen ist kostengünstiger als das Aufstellen separater Ladesäulen (Bild 1).

Bereits mehrere Laternen-Ladepunkte mit 230 V und 16 A von Ebee Smart Technologies sind in Berlin ans Netz gegangen. Die Laternen-Ladepunkte enthalten einen fest installierten Stromzähler und sind an die Intercharge-Roaming-Plattform von Hubeject angeschlossen (Kasten). Alle Kunden von Hubeject-Partnern können entweder per RFID-Ladekarte oder per App die Aufladung bezahlen (Bild 2). Wie die Elektronik bei einer Straßenleuchte mit Zusatzanschluss für eine Ladestation mit 230 V/16 A prinzipiell aussehen könnte, zeigt das Schaltschema in Bild 3.

Ein erweitertes Konzept ist die Leuchtenmast-Ummantelungstechnologie. Sie bietet zusätzlich die Möglichkeit, unterschiedliche Ladetechniken wie ein- und mehrphasigen Wechselstrom, Gleichstrom und Induktionsladeverfahren zur Verfügung zu stellen. Auch ein Parkschein-Automat kann hier



Bild 2. In Berlin-Friedenau befinden sich bereits Straßenleuchten mit einer Ladestation von EBEe für Elektrofahrzeuge. (Bild: Prof. Marx)

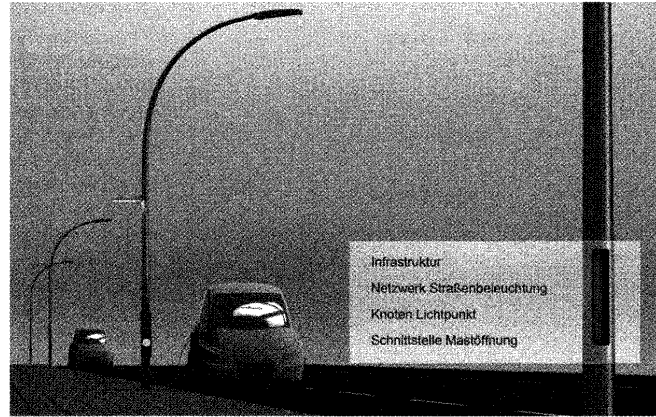


Bild 1. Durch Kombi-Straßenleuchten mit Ladestation für Elektrofahrzeuge lässt sich im Vergleich zum Aufstellen separater Ladesäulen Geld sparen. (Bild: Selux AG)

zusätzlich eingebaut werden. Dadurch lässt sich die Anzahl der vorhandenen Stadtmöbel konstant halten oder sogar verringern (Bild 4).

#### Poller-Ladeleuchten

Spezielle Poller-Ladeleuchten bieten die Möglichkeit, private Pkw-Stellplätze, Fahrzeug-Stellplätze in Wohnanlagen, Behörden- und Firmenparkplätze, Parkplätze von Supermärkten und Einkaufszentren sowie Hotelparkplätze zu beleuchten und gleichzeitig die Batterien von Elektrofahrzeugen mittels ein- und mehrphasigem Wechselstrom oder auch Gleichstrom aufzuladen. Selux, Vieweg und Ebee haben Poller-Ladeleuchten konzipiert, in denen jeweils acht Hochleistungs-LEDs des Typs XM-L2 von Cree mit 2 W Leistung verbaut sind (Bild 5). Die Beleuchtungslösung liefert insgesamt einen Lichtstrom von 2080 lm und die Lebensdauer wird mit 100.000 h angegeben. Die Spannungsversorgung des Leuchtenkopfs erfolgt mit 230 V.

Die Ladeleuchten verfügen netzseitig über einen Drehstromanschluss. Ein Einphasen-Wechselstrom-Ladeausgang des Ladetyps 2 (Mode 3) mit 230 V/10 A bzw. 230 V/16 A sowie ein Drehstrom-Ladeausgang des Ladetyps 2 (Mode 2) mit 400 V/230 V/32 A sind vorhanden. Die Typ-2-Ladesteckverbindung ist mit einer Schutzabdeckung versehen. Zur weiteren technischen Ausstattung zählen eine Betriebsstandsanzeige über farbliche LEDs, Schlüsselschalter für die Abschaltung sowie die einmalige und dauerhafte Freischaltung, Leitungs-

schutz, ein allstromsensitiver Fehlerstromschutzschalter des Typs B, eine Sicherheits-Kommunikationseinrichtung, eine Zugangsberechtigung, ein Stromzähler und eine IT-Stromkosten-Abrechnungselektronik (RFID). Für das Gehäuse werden Aluminium-Strang-

Bauteile Halbleiter  
Komponenten & Geräte

# Fanless Power by MeanWell

www.schukat.com

## SCHUKAT

electronics

# ELEKTROMOBILITÄT

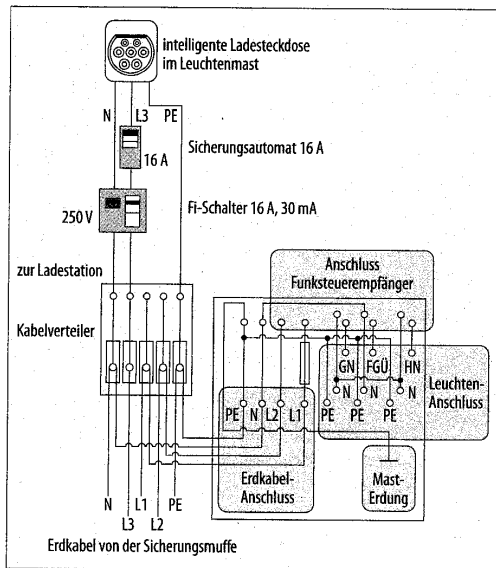


Bild 3. Prinzip-Schaltschema für eine Außenleuchte mit Zusatzanschluss für eine Ladestation mit 230 V/16 A. (Quelle: Prof. Marx)

gussprofile verwendet. Besonders servicefreundlich ist die ausklappbare Ladeelektronik (Bild 6). Die Poller-Ladeleuchten sind in verschiedenen Bauhöhen realisierbar. Auch eine individuelle Farbgestaltung ist möglich.

### Wechsel- oder Gleichstrom-Laden

Der häusliche 230-V-Netzanschluss ist in der Regel für maximal 16 A ausgelegt und liefert damit maximal 3,68 kW Ladeleistung. Eine Drehstrom-Ladestation mit 400 V/32 A stellt dagegen fast die sechsfache Leistung, nämlich  $P = \sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 32 \text{ A} = 22 \text{ kW}$  bereit. Mit Gleichstromtechnik erhält man noch eine höhere Leistung:  $P = 500 \text{ V} \cdot 200 \text{ A} = 100 \text{ kW}$ .

Für öffentliche Ladesäulen ist schnelles Gleichstromladen unverzichtbar, da

solche Säulen viele Ladekunden bedienen sollen und deshalb nicht durch langsames, einphasiges Wechselstromladen mit 3,7 kW durch nur ein E-Fahrzeug über mehrere Stunden blockiert werden dürfen. In Wohnstraßen hingegen ist ein preiswertes, langsames AC-Laden mit maximal 3,7 kW an Kombilatern zum Aufladen von E-Autos in den Nachtstunden durchaus sinnvoll. Die Autoindustrie scheint derzeit neben dem langsamen Laden

mit Einphasen-Wechselstrom die Schnell-Ladung mit Gleichstrom zu bevorzugen und das Drehstromladen (11 kW bis 22 kW) links liegen zu lassen, da in diesem Fall auf das aufwändigere Drehstrom-AC/DC-Ladegerät (mehr Gewicht, mehr Volumen, höhere Kosten) im Fahrzeug verzichtet werden kann.

In deutschen Städten gibt es verschiedene Netzspannungsebenen, in Berlin zum Beispiel sind vorwiegend 380-kV-, 110-kV-, 20-kV- und 400-V-/230-V-Netze vertreten. Zur Energieverteilung in der Mittelspannung überwiegt hier das 10-kV-Netz und bei Neuinstallationen wird hauptsächlich 20 kV verwendet, da sich dies hinsichtlich der Systemkosten je übertragenem kW als die preisgünstigste Lösung erwiesen hat. In den Straßen Berlins sind vieradrige PEN-Drehstrom-Erdkabel für

230 V/400 V mit 150 mm<sup>2</sup> bis 240 mm<sup>2</sup> Alu-Ader-Querschnitt der Schutzart TNC mit durchschnittlicher Leistung von 200 kW verlegt. Diese versorgen die Anlieger sowie die Straßenleuchten, wobei die Straßenleuchten über T-Muffen (Beleuchtungsmuffen) angeschlossen sind. Teilweise sind auch Kupferkabel verlegt.

Wenn in einer Straße ein höherer Leistungsbedarf besteht, werden zunächst parallel mehrere vieradrige PEN-Drehstrom-Erdkabel für 400 V/230 V verlegt. Mit der maximal zulässigen Stromdichte von 2 A/mm<sup>2</sup> folgt für den maximalen Effektivstrom  $I = 150 \text{ mm}^2 \cdot$

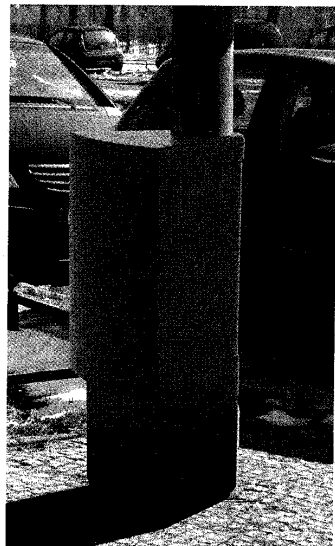


Bild 4. Die Leuchtenmast-Ummantelungstechnologie schafft die Möglichkeit, mehrere Ladetechniken über eine Straßenleuchte zur Verfügung zu stellen. (Bild: Selux AG)

$2 \text{ A/mm}^2 = 300 \text{ A}$ . Die Absicherung erfolgt über 250-A-Sicherungen. Mit  $\cos\varphi = 1$  folgt für die Drehstrom-Wirkleistung  $P_w = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi = \sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 250 \text{ A} = 173 \text{ kW}$

und den maximalen Strom pro Phase  $I = P_w / (\sqrt{3} \cdot U) = 173 \text{ kW} / 693 \text{ V} = 250 \text{ A}$ . Die Leistung pro Phase ergibt dann  $P_{Ph} = 230 \text{ V} \cdot 250 \text{ A} = 57,5 \text{ kW}$ . Und die Gesamtleistung ist damit wieder

$P_w = 3 \cdot 57,4 \text{ kW} = 173 \text{ kW}$

Die Ladestationen für E-Autos entnehmen im Allgemeinen dem Netz einen nichtsinusförmigen Strom, wobei die dritte Oberschwingung (150 Hz) den PEN-Leiter und die Transformatoren stark belastet. Hier sind zukünftig PFC-

## Die Intercharge-Plattform von Hubeject

Ziel von Hubeject ist es, eine flächendeckend nutzbare Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge zu schaffen. Deshalb hat das Unternehmen ein eRoaming-Modell

entwickelt, das einen anbieterübergreifenden Zugang zu Ladestationen für Elektrofahrzeuge schafft. Auf diese Weise sollen Ladestationen in ganz Europa in einem System verbunden werden. Das Intercharge-Kompatibilitätssym-



bol kennzeichnet jeden Ladepunkt der vernetzten und anbieterübergreifenden Gesamtinfrastruktur. So können die Fahrer von Elektrofahrzeugen alle Ladepunkte des eRoaming-Netzwerks einfach identifizieren. Der in dem Zeichen integrierte QR-Code macht das Zeichen funktional, so dass der Anwender mittels der Scanfunktion seiner Smartphone-App den Ladevorgang starten kann.

Schaltungen erforderlich.

Im Bereich der Niederspannung werden in Berlin bei Neuinstallation überwiegend 4x150-mm<sup>2</sup>-Alu-Kabel mit VPE-Aderisolierung verwendet; diese sind höher belastbar und werden mit 315 A abgesichert. 4x150-mm<sup>2</sup>-Alu-Kabel mit PVC-Aderisolierung werden mit 250 A abgesichert. Dies hängt mit den maximal zulässigen Adertemperaturen zusammen, nämlich 75 °C für PVC und 90 °C für VPE (vernetztes Polyäthylen). Um ein 4x150-mm<sup>2</sup>-Kabel mit VPE-Isolierung in einer Typprüfung auf 95 bis 100 °C zu erwärmen, sind circa 500 A erforderlich.

**Benötigte Ladeinfrastruktur**

In manchen Städten werden die Straßenlaternen direkt an die meist unter den Gehwegen verlegten allgemeinen Versorgungsleitungen (400 V/230 V, z.B. Phase L1) angeschlossen, das heißt der Ladepunkt kann problemlos auch direkt über die Zuleitung zur Straßenleuchte an die unbenutzten Phasen L2 oder L3 angeschlossen werden. Andersorts sind separate Stromleitungen für Straßenleuchten vorhanden. Diese werden abends eingeschaltet und am Morgen

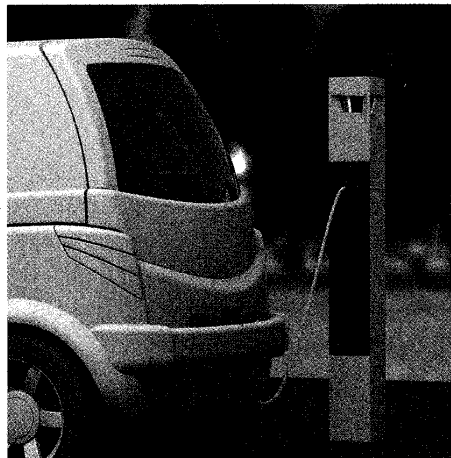


Bild 5. Die von Selux, Vieweg und EBEE entwickelten Poller-Ladeleuchten liefern Lichtströme bis 2080 lm. (Bild: Selux AG)

ausgeschaltet, das heißt man kann tagsüber nicht laden. Außerdem sind die Leitungsquerschnitte meist nur knapp bemessen für die geringe Anschlussleistung der Laternen, so dass man in solchen Fällen einen zusätzlichen Anschluss von der Straßenleuchte an das allgemeine Versorgungsnetz vorsehen muss.

Engpässe in der Stromversorgung wären selbst bei einem schnellen Markthochlauf nicht zu befürchten. Ein E-Auto benötigt etwa 15 kWh für 100 km. Autos fahren in Deutschland im Durchschnitt 11.000 km im Jahr, das heißt sie benötigen hierfür 110 · 15 kWh = 1650 kWh. Der jährliche Bedarf an elektrischer Energie (ohne E-Autos) beträgt in Deutschland rund 600 GkWh.

Sogar wenn im Jahr 2020 eine Million Autos rein elektrisch fahren würden, was nach derzeitigem Stand als unwahrscheinlich bezeichnet werden darf, liefe das nur auf einen Mehrbedarf von rund 1,65 GkWh hinaus. Das sind lediglich 0,3 % mehr als die momentan pro Jahr benötigte Energie. Würde der komplette Bestand von aktuell 44 Millionen Pkw in der Bundesrepublik mit Strom fahren, entspräche das folglich einem Energiebedarf von etwa

44 · 1,65 GkWh = 72,6 GkWh pro Jahr, das wären dann 12 % Mehrbedarf an elektrischer Energie.

Die Kosten für die Anschaffung separater Ladesäulen für Elektroautos und Plug-in-Hybride werden auf rund 10.000 Euro pro Stück veranschlagt. Auch auf lange Sicht dürften die Ladesäulen wegen dieser hohen Anschaffungskosten für die Ladesäulenbetreiber (Stromkonzerne, Stadtwerke usw.) unrentabel bleiben, denn durch das reine Stromladen ist eine Refinanzierung vermutlich kaum möglich. Hier stellt sich natürlich auch die Frage, was die Ladesäulenbetreiber vom E-Tankkunden für das Laden verlangen. Derzeit werden noch verschiedene Modelle diskutiert, die von einem festen kWh-Preis mit bzw. ohne zusätzlichen Ladezeittarif über einen Pauschalpreis bis hin zur kostenlosen Auflademöglichkeit reichen.

Kombi-Laternen dürften sich leichter refinanzieren lassen. Es kann sein, dass der Ladeinfrastruktur-Aufbau sogar nur in öffentlich-privaten Partnerschaften zu realisieren ist. Eine Schwierigkeit könnte auch sein, dass in Deutschland aus steuerrechtlichen Gründen nur Energieversorgungsunternehmen elektrische Energie verkaufen dürfen. Wer sich jedoch als Stromlieferant registrieren lässt, kann auch Strom verkaufen. ih

**Literatur**

- [1] Leuchte mit Ladestation für Elektrofahrzeuge, Deutsche Patentanmeldung AZ 10 2012 023 252.7, Anmeldetag: 29.11.2012, Anmelder Selux AG
- [2] Außenleuchte mit Elektroladestation, Gebrauchsmuster Nr. DE 20 2011 100 062.5, Anmeldetag: 30.4.2011, Inhaber: Selux AG
- [3] Stromtankstelle, Gebrauchsmuster Nr. DE 20 2010 005 543 U1 Anmeldetag: 2.6.2010, Inhaber: Selux AG

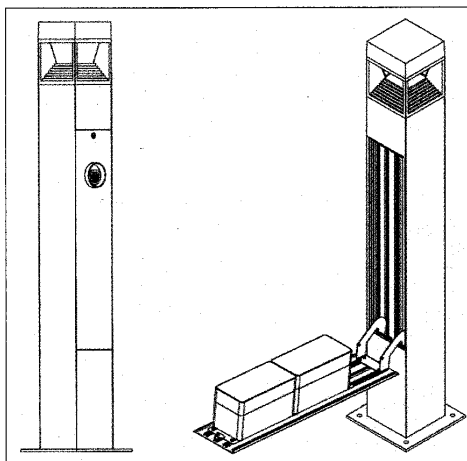


Bild 6. Die Ladeleuchte verfügt über eine ausklappbare Ladeelektronik. (Bild: Selux AG)



**Prof. Dr.-Ing. Peter Marx**

studierte Elektrotechnik und Lichttechnik an der TU Berlin und arbeitete nach seinem Studium als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Lichttechnik der TU Berlin. Seit 1977 war er Hochschullehrer für das Lehrgebiet Elektronische Messtechnik im Fachbereich Elektrotechnik und Feinwerktechnik der TFH Berlin. Heute sind seine Arbeitsgebiete die elektronische Messtechnik und die Lichttechnik, wo er als Sachverständiger tätig ist.

info@mx-electronic.com