

E-Mobility und Ladeinfrastruktur

**Light & Charge
Straßenleuchten mit integrierter
Ladestation für Elektroautos**

Prof. Dr.- Ing. Peter Marx

www.mx-electronic.com
info@mx-electronic.com

PKW-Weltbestand mit Verbrennungsmotor

Ende 2017 = eine Milliarde

Davon waren rund 15 Millionen = 1,5 Prozent mit einem Elektromotor ausgestattet,

darunter knapp 3 Millionen reine Elektroautos und Plug-in-Hybride mit externer Lademöglichkeit

sowie rund 12 Millionen Hybride ohne Ladesteckdose.

Etwa 85 Millionen PKW wurden 2017 weltweit produziert (davon VW \approx 10 Mio // BMW \approx 2,4 Mio // Daimler \approx 2,2 Mio)

Der Verkehr hat weltweit seit 1990 bei den Emissionen um 28 % zugelegt.

Er ist in Europa für 24 % des CO₂-Ausstoßes verantwortlich.

Der Straßenverkehr hat davon einen Anteil von 72 %, d.h. ohne eine grundlegende Veränderung der Mobilität kann der Klimawandel nicht gestoppt werden.

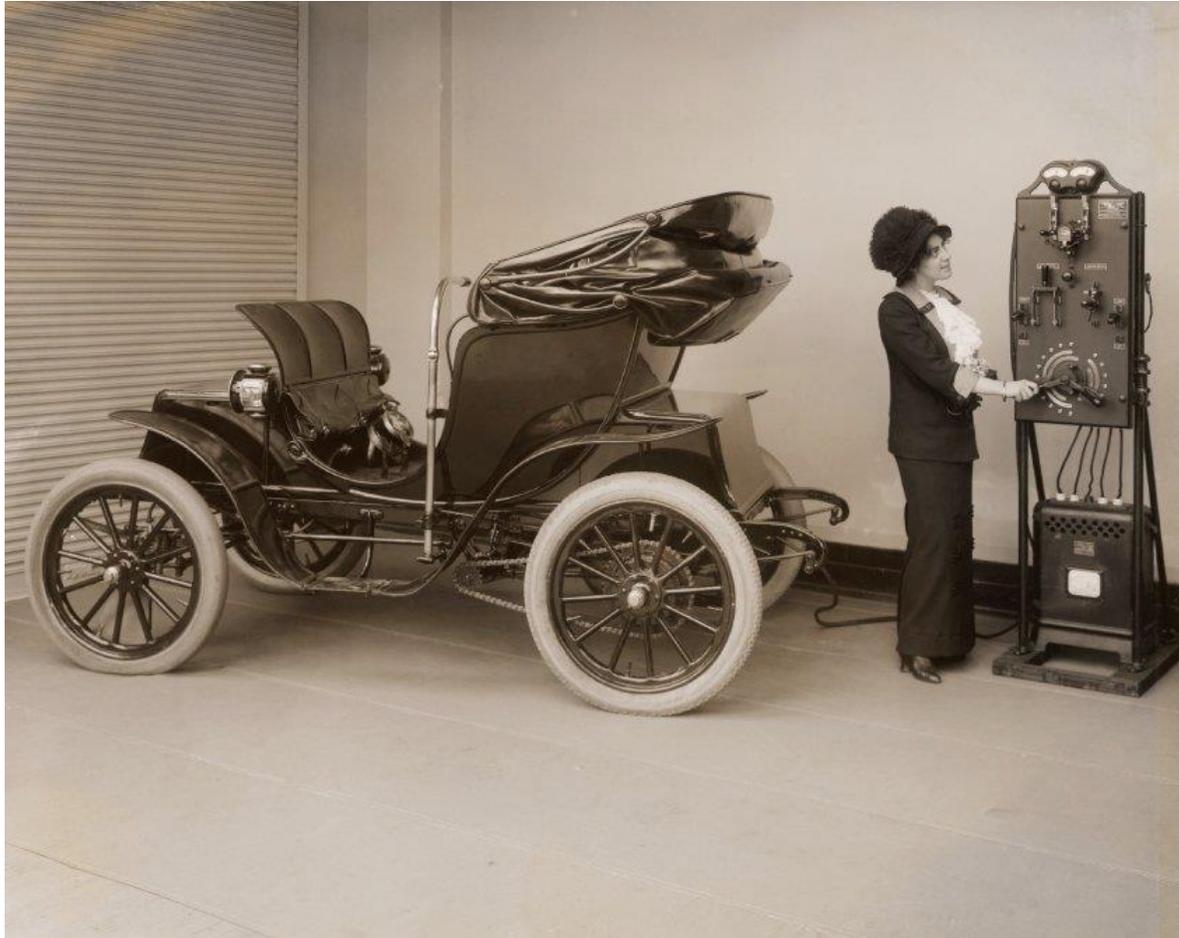
**Der deutsche Staat will 12.000 öffentliche Ladepunkte
mit 300 Mio. € fördern.**

**Bzgl. der öffentlichen Ladeinfrastruktur zeichnet sich aus
meiner Sicht Folgendes ab:**

**Man muss differenzieren zwischen langsamem Laden bis etwa
11 kW, am Arbeitsplatz, an Ladelaternen in Wohnstraßen, in
Hotels, zu Hause und schnellem Laden ab 22 kW bis 350 kW
an städtischen öffentlichen Ladesäulen, Bundesstraßen,
Autobahnen usw..**

Elektroauto-Revolution vor über 100 Jahren

Was heute klingt wie eine Zukunftsvision des 21. Jahrhunderts, ist in Wahrheit lange her: 60.000 batteriebetriebene Wagen fuhren bereits 1912 durch die USA.



Ladestation: Um 1912 benutzt eine junge Frau ein per Hand zu bedienendes Ladegerät für die Batterien ihres Elektroautos, Modell Columbia Mark 68 Victoria

Sogar Kaiser Wilhelm fuhr ein Elektroauto.

Doch dann gelang 1911 Charles Kettering, einem Mann aus Ohio, eine Sensation.

Er baute einen elektrischen Anlasser für Benzinmotoren.

Der Boom um die Elektroautos hatte gerade erst seinen Höhepunkt erreicht, da endete er schon wieder:

Plötzlich galten Benziner als einfacher zu bedienen, außerdem hatten sie inzwischen deutlich größere Reichweiten als die leisen Konkurrenten erreicht.

Und so scheiterten die Wunderwagen vor 100 Jahren. Aktuell wird jedoch der Umstieg vom Benziner / Diesel aufs Elektroauto möglich durch moderne Lithium-Ionen-Batterien mit Reichweiten bis etwa 500 km.

Der Verbrennungsmotor ist angezählt !

Die Disruption der Autoindustrie macht ganze Branchen überflüssig - und könnte eine Viertelmillion Jobs kosten, vor allem im Mittelstand - denn die Produktion von Elektroautos ist weniger aufwändig als die von Benzin- und Dieselfahrzeugen.

Ab 2030 sollen nur noch Elektroautos neu zugelassen werden.

Disruptive Technologien verdrängen alte Geschäftsmodelle und Berufe.

| | |
|-----------------------------|----------------------------------|
| Automobil | Pferdekutsche |
| Dampfschiff | Segelschiff |
| Elektrolokomotive | Dampflokomotive |
| LED | Glühlampen und Entladungslampen |
| Elektromotor | Verbrennungsmotor |
| Transistor | Elektronenröhren |
| Digitalkamera | Filmkamera |
| CAD | technisches Zeichnen |
| Compact Disc | Vinyl-Schallplatten |
| PC mit Laserdrucker | Schreibmaschine |
| Flachbildschirme | Röhrenmonitore |
| Smartphones | Handy mit Tastatur (siehe Nokia) |
| Solar- und Windkraftanlagen | Kohlekraftwerk, Atomkraftwerk |
| Elektroauto | Auto mit Verbrennungsmotor |
| Roboter | manuelle Arbeit |

Ganze Komponenten wie die Abgasnachbehandlung und komplexe Getriebe werden gar nicht mehr benötigt.

Die Batteriezellen-Produktion, das Kernelement jedes Stromers, findet derzeit leider noch nicht in Deutschland statt, sondern in Asien und in den USA.

Von den rund 800.000 Beschäftigten der Autoindustrie muss wahrscheinlich fast jeder Dritte gehen.

**Werkstätten verlieren einen Großteil ihres
Geschäftes, denn wo geringer
Verschleiß, da kein Geschäft!**

**Beispiel: Ein Verbrennungsmotor hat rd.
2000 Bauteile, ein vergleichbarer
Elektroantrieb nur etwa 200 Teile!**

**Der Staat verliert die Einnahmen der
Mineralölsteuer**

Das Elektroauto (EA) lässt sich nicht länger aufhalten, in 15 bis höchstens 25 Jahren gibt es überwiegend Autos mit Elektroantrieb.

Insbesondere die Verbrenner-Autoindustrie und ihre gesamte Zulieferindustrie werden stark schrumpfen, da sie im Verbund mit der Ölindustrie das Elektroauto vernachlässigen und weil die maßgebenden Leute Verbrennungsmotoren-Spezialisten sind, die ihre Positionen behalten wollen.

Und weil neben Auto-, Zuliefer- und Ölindustrie eine ungeheure Liefer- und Dienstleistungskette am Verbrennungsmotor (VM) hängt:

Rohöl- und Benzin-/ Diesel-Transport-Industrie, Raffinerien, Tankstellen, Werkstätten etc.

Liste der Bauelemente, die es in E-Autos nicht mehr gibt:

Teure Aggregate: Automatik-Getriebe,
Doppel-Kupplungen, Motorblöcke,
Zylinderköpfe, Kolben, Kolbenringe,
Pleuelstangen, Ventile, Einspritzdüsen,
Diesel-Einspritzpumpen, Kurbelwellen,
Differentialle, Kardanwellen,

Lichtmaschinen, Anlasser, Auspuffkrümmer,
Auspuffrohre, Abgasrückführung,
Abgasnachbehandlung, Lambdasonden,
Rußfilter, Schalldämpfer,
Kühler, Kraftstofftank, alle elektronischen
Steuergeräte, die zum Motor, zum
Getriebe, zur Abgasnachbehandlung etc.
gehören.

Kleinere Baugruppen:

Wasserpumpen, Kühlerventilatoren,
Benzinpumpen, Vergaser, Zündanlage mit
Zündspule, Verteiler, Zündkerzen,
Vorglühkerzen, Ölpumpen, Ölfilter,
Kraftstoff-Filter, Luftfilter, 12 V-Akku,
Dichtungen, Schläuche, Rohre, Riemen,
Ketten etc.

Betriebsstoffe:

Benzin oder Diesel, Motoröle,
Getriebeöle, Kühlwasser–Gefrierschutz,
Zusätze für Abgasreinigung.

Es entfällt das Wechseln von Motor-,
Getriebe-, Differential-Ölen,
von Kraftstoff-, Öl-, Luftfiltern,
Abgasreinigungs-anlagen etc.

Nicht mehr vorhandene Teile müssen weder entwickelt, noch geprüft und zugelassen, eingekauft, gelagert, montiert noch gewartet, repariert oder ersetzt werden,

Ersatzteillager schrumpfen auf Karosserieteile, Elektronikbaugruppen und Akkus zusammen. Viele Werkstätten werden schließen, die Leute entlassen.

Die gesamte ungeheure Öl-Logistik für obige Stoffe wird größtenteils überflüssig, von den Ölquellen über die Tankschiffe bzw. Ölleitungen, über die Raffinerien bis zu den Benzin-/Dieseltransportern und Zapfsäulen an Tankstellen!

Öl wird nur noch für die chemische Industrie, z.B. für Kunststoffteile, Reifen und zurückgehende private Ölheizungen benötigt.

Strom braucht weder mit Schiffen oder LKWs transportiert, noch raffiniert und auch nicht in den Tankstellen in unterirdischen Behältern gespeichert zu werden.

Vor allem kann er im eigenen Land erzeugt werden, keine Abhängigkeit von anderen Ländern mehr.

Die Unterhaltskosten (Wartungs- und Reparaturkosten) für EAs sind deutlich niedriger

Insbesondere fallen die besonders einträglichen regelmäßigen Wartungsarbeiten wie Ölwechsel, Altölsorgung, Ölfilter, Luftfilter, Kraftstoff-Filter, Kupplung, Kühlanlage ersatzlos fort. Die Bremsbeläge halten viel länger wg. des überwiegend elektrischen Bremsens.

Was für die Werkstätten übrigbleibt sind Unfallschäden, Karoserieschäden und Schäden an deren Bestandteilen wie Fensterhebern, Reifen, Inneneinrichtung, Bremsen, Auswechseln der Elektronik und der Akkus.

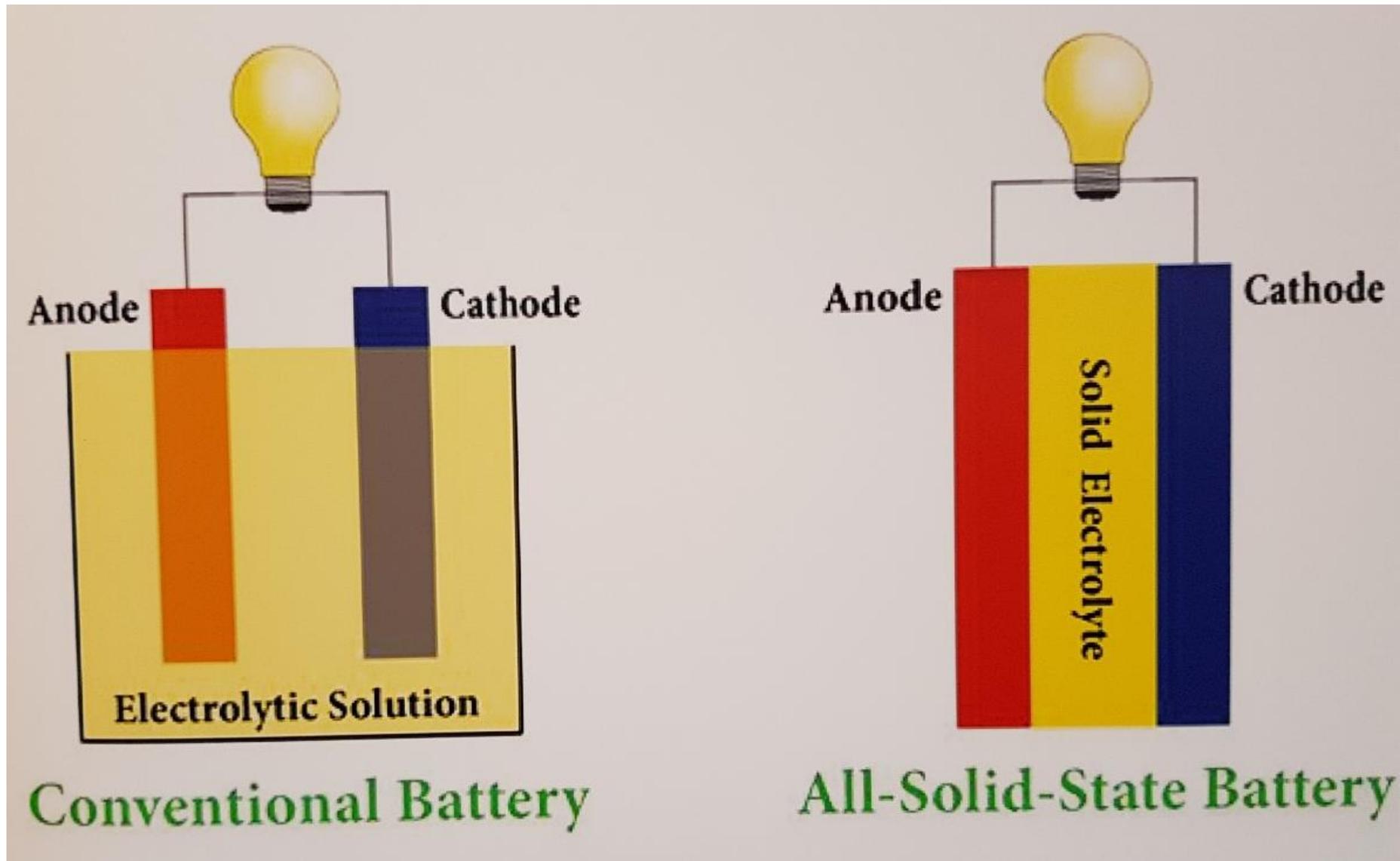
Weder die E-Motoren noch die Leistungselektronik bedürfen einer Wartung: Die Motoren sind wartungsfrei und halten länger als die Karosserie.

Die Elektronik kann wie jede ausfallen, wird jedoch als Baugruppe schnell ausgetauscht.

Die Akku - Austauschfristen hängen von deren Eigenschaften ab und wie sie behandelt werden.

Ganz wichtig:

Die Akkuentwicklung befindet sich in der Anfangsphase, in Kürze wird es wesentlich billigere Akkus mit wesentlich höherer Kapazität und Lebensdauer geben! Li-Ionen-Akkus sind nur eine Zwischenlösung.



| Battery type | Lithium Ion | Lithium-Air | Zinc-Air | Lithium-Sulfur |
|--|-------------|---------------|---------------|------------------------|
| Theoretical gravimetric energy density | 387 Wh/kg | 11700 Wh/kg | 1350 Wh/kg | 2500 Wh/kg |
| Theoretical volumetric energy density | 570 Wh/l | 6170 Wh/l | 6091 Wh/l | 2800 Wh/l |
| Estimated costs | 195 \$/kWh | 70-200 \$/kWh | 65-135 \$/kWh | 250 \$/kWh |
| Cycles with >80% retained capacity | 1000 | 200 | 9000 | 1000 |
| Theoretical specific capacity | 99 Ah/kg | 3860 Ah/kg | 873 Ah/kg | 893 Ah/kg ¹ |

Der Akku ist – neben den Reifen – das einzige Verschleißteil. Totalausfälle dürften sehr selten sein, normal ist ein langsames Nachlassen der Kapazität.

Unbekannt ist noch, wie der Staat die heutigen hohen Einnahmen aus Kfz - Steuer, Treibstoffsteuer und Umsatzsteuer bei EAs erheben wird. Vermutlich wird die Besitzsteuer (Kfz - Steuer) bleiben, und es wird ggf. die Wegstrecke kontrolliert und besteuert werden (siehe LKW-Maut).

Lebensdauer und Zuverlässigkeit von E-Autos sind signifikant höher.

Die Lebensdauer wird hauptsächlich von der Karosserie bestimmt.

Es sei betont, dass ein Verschleiß wie beim Verbrennungsmotor (Kolbenringe, Auf- und Abbewegung, Kurbelwelle, Steuerketten, Nockenwellen, Ventile etc.) und seinen zahllosen zugehörigen Baugruppen nicht auftritt.

Die Motoren sind optimal direkt an die Räder montiert, ihre Lager bzw. die Radlager sind für die Lebensdauer des Autos geschmiert.

Da die Bremsung überwiegend elektrisch erfolgt, gibt es keine Bremse im herkömmlichen Sinn, der Verschleiß der Bremsbeläge ist minimal.

Dem EA ist es egal, ob es ständig benutzt wird oder lange steht, außer einer gewissen Selbstentladung des Akkus passiert nichts.

Kurzstreckenfahrten auch im Winter, schädigen die Elektromotoren nicht.

Man braucht auch die Motoren bei Kälte nicht zu schonen, bis sie warm sind, noch gibt es einen höheren Verbrauch bei Kälte. Es hängt von der Akkutechnologie ab, ob und wie sehr seine Kapazität bei Kälte reduziert wird.

Man wird sicher mit einer Autolebensdauer von über 20 Jahren rechnen können, insbesondere, wenn der Besitzer dafür sorgt, dass der Rostschutz verbessert und regelmäßig nachgebessert wird.

Dies hat Konsequenzen einmal für die jährlichen Umsatzstückzahlen der Hersteller, die sich etwa halbieren dürften wie auch für die Einnahmen des Staates aus der Umsatzsteuer beim Kauf.

Die Betriebskosten sind bedeutend niedriger

Sind also die Anschaffungs- und Unterhaltskosten schon so viel günstiger, so trifft dies insbesondere auf die reinen laufenden Betriebskosten, d.h. die Energiekosten zu.

Der Energieverbrauch ist bedeutend niedriger wegen des sehr hohen Wirkungsgrades der E-Motoren und der Leistungselektronik, der bei 90 - 95 % liegt.

Beim Akku hängt es sehr stark von seiner Technologie ab, auch von der Temperatur, wie hoch die Lade- und Entladeverluste sind.

Bei Schnell-Ladung sind die Verluste höher.

Als mechanische Verluste verbleiben nur Radlagerreibung, Reifenabrollwiderstände und -walkarbeit, alle Verluste im Verbrennungsmotor, in Kupplung, Getriebe, Differential etc. entfallen.

Die aufzuwendende Leistung bzw. Energie zur Überwindung des quadratisch mit der Geschwindigkeit ansteigenden Luftwiderstands ist unabhängig von der Art des Antriebs.

Es gibt keinerlei Energieverbrauch im Stand,
an der Kreuzung, im Stau etc. !

Es gibt auch keinen Mehrverbrauch und keine höhere Abnutzung bei Kaltstart und Warmlauf. Damit entfallen diese sehr hohen heutigen Energieverluste.

Beim Bremsen wird Energie in den Akku zurückgeliefert

Die Rekuperation beim Bremsen ist ein enormer Vorteil gegenüber allen anderen Antrieben, man nimmt an, dass gut $1/3$ der im rollenden Fahrzeug steckenden kinetischen Energie rekuperiert werden kann.

Dies macht sich besonders im Stadtverkehr mit ständigem Stop-and-Go stark bemerkbar.

Bei Bergabfahrten wird der Akku beim elektrischen Bremsen geladen.

Berechnung der Energie,

die ein durchschnittliches

E-Auto auf ebener Strecke für $s = 100$ km

**und bei $v = 100$ km/h zur Überwindung
des Luft- und Rollwiderstandes benötigt.**

Die Luftwiderstandskraft F_L lässt sich einfach berechnen:

$$F_L = \frac{1}{2} \cdot A \cdot \rho \cdot v^2 \cdot c_w$$

ρ : Dichte der Luft

c_w : Luftwiderstandsbeiwert (PKW
heutzutage ca. 0,3)

v : Fahrzeuggeschwindigkeit

A : Stirnfläche des PKW,

Beispiel Renault ZOE:

$$A = \text{Breite} \times \text{Höhe} = 1,56 \text{ m} \times 1,40 \text{ m} = 2,184 \text{ m}^2$$

$$F_L = 0,5 \cdot 2,184 \text{ m}^2 \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot (100 \text{ km/h})^2 \cdot 0,3$$

mit $1 \text{ Nm} = 1 \text{ Ws} = 1 \text{ kg m}^2 / \text{s}^2$ erhält man

$$\begin{aligned} F_L &= 0,393 \text{ kg/m} \cdot 10^{10} \text{ m}^2 / (12,96 \cdot 10^6 \text{ s}^2) \\ &= 303 \text{ kg m} / \text{s}^2 = 303 \text{ N} \end{aligned}$$

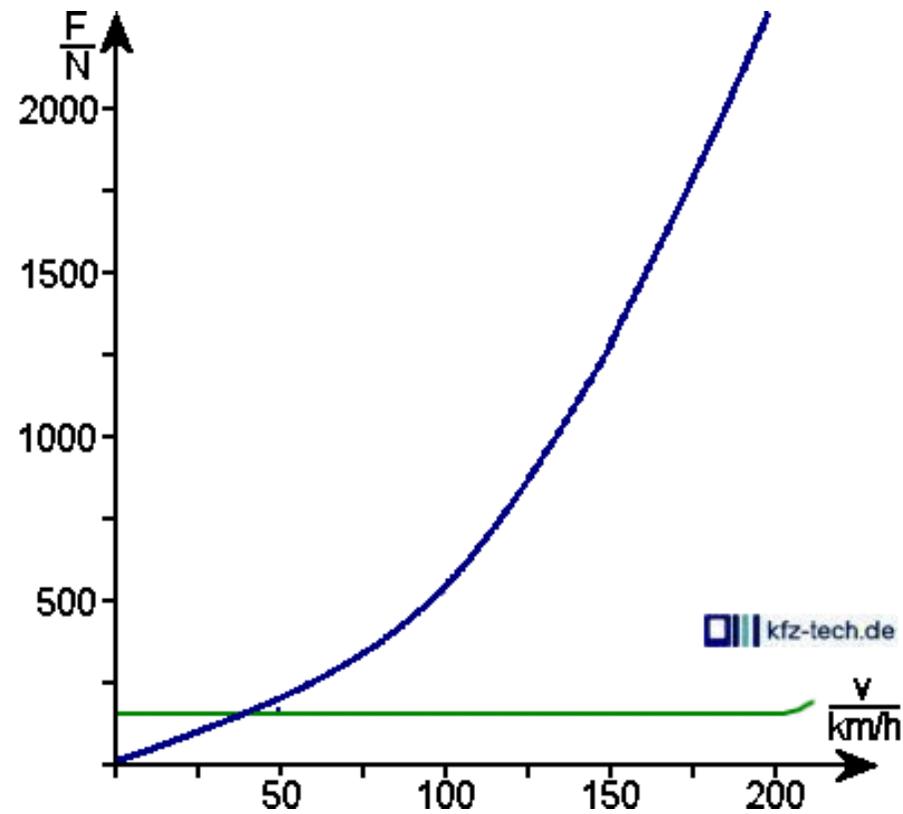
Bei 50 km/h beträgt die Luftwiderstandskraft F_L wg. der quadratischen Abhängigkeit von v nur ein Viertel, d.h. **$F_L = 76 \text{ N}$**

Rollwiderstandskraft

Diese entsteht durch die Verformung von Rad und Fahrbahn beim Abrollen.

$$F_R = c_R \cdot F_N$$

Der Rollwiderstandskoeffizient ist eine dimensionslose (einheitenfreie) Zahl, die von Materialeigenschaften und Geometrie des abrollenden Körpers abhängt. F_N ist die Normalkraft (Gewichtskraft)



Quadratische Zunahme des Luftwiderstands F_L mit der Geschwindigkeit v

Grüne Linie = konstanter Rollwiderstand

**Für den Renault ZOE mit der
Gesamtmasse = 1943 kg folgt**

$$\mathbf{F_N = m \cdot g = 1943 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 = 19061 \text{ kg m/s}^2 = 19061 \text{ N}}$$

mit $c_R = 0,013$ für Autoreifen auf Asphalt ergibt sich

$$\mathbf{F_R = c_R \cdot F_N = 0,013 \cdot 19061 \text{ N} = 248 \text{ N}}$$

Beim Renault ZOE wird bei 100 km/h für die Überwindung des Luftwiderstands eine Kraft von etwa $F_L = 303 \text{ N}$ und zur Überwindung des Rollwiderstands (bei maximaler Zuladung) eine Kraft von $F_R = 248 \text{ N}$ benötigt, insgesamt also **551 N**.

Die benötigte Energie (Arbeit) die das E-Auto ZOE auf ebener Strecke für $s = 100$ km bei $v = 100$ km/h zur Überwindung des Luft- und Rollwiderstandes benötigt, ist also:

$$E = \text{Kraft} \cdot \text{Weg} = F \cdot s = 551 \text{ N} \cdot 100 \text{ km}$$

$$E = 5,51 \cdot 10^7 \text{ Nm} = 5,51 \cdot 10^7 \text{ Ws} = \mathbf{15,3 \text{ kWh}}$$

Die Stromkosten betragen für **100 km**

$$15,3 \text{ kWh} \cdot 0,28 \text{ €} = \mathbf{4,28 \text{ €}}$$

Benötigte elektrische Energie bei 50 km/h
(Stadtverkehr) für 100 km

$$E = \text{Kraft} \cdot \text{Weg} = F \cdot s = 324 \text{ N} \cdot 100 \text{ km}$$

$$E = 3,24 \cdot 10^7 \text{ Nm} = 3,24 \cdot 10^7 \text{ Ws} = \mathbf{9 \text{ kWh}}$$

Die Stromkosten betragen für **100 km** also
nur $9 \text{ kWh} \cdot 0,28 \text{ €} = \mathbf{2,52 \text{ €}}$

Hinzu kommen noch etwa **5 % Verluste** im elektrischen
Antriebsstrang.

Hinweis: In Polen kostet die kWh 0,15 €, in Frankreich 0,17 €
EU-Durchschnittspreis = 0,21 €

Hinweis: Für die Leistung P ergibt sich eine kubische Abhängigkeit von der Fahrzeug-geschwindigkeit infolge des quadratisch ansteigenden Luftwiderstandes, denn es gilt:

$$F_L \sim v^2 \quad E \sim F_L \cdot s \quad E \sim v^2 \cdot s$$

mit $v = s / t$ folgt

$$P = E / t \sim v^2 \cdot (s / t) \sim v^3$$

d.h., wenn ein Auto mit 2-facher Geschwindigkeit fährt, benötigt es die 8-fache Leistung allein durch den quadratisch ansteigenden Luftwiderstand !

Zum Vergleich:

Energie in 1 Liter Benzin entspricht 10 kWh

Energie in 1 Liter Diesel entspricht 10,9 kWh

Der Wirkungsgrad von Verbrennungsmotoren ist sehr viel geringer als der von Elektromotoren, deshalb verbrauchen selbst sehr sparsame herkömmliche Autos mehr als 4 Liter Kraftstoff für 100 km!

Die Hersteller sollten die Verbräuche in kWh für 100 km auf horizontalen, ebenen Straßen bei konstanter Geschwindigkeit im Bereich von 30 km/h bis 150 km/h in einem Diagramm darstellen, um den großen Einfluss des Luftwiderstands auf den kWh-Verbrauch – dieser steigt mit dem Quadrat der Geschwindigkeit an - zu verdeutlichen.

Im Stadtverkehr sollte ebenfalls der durchschnittliche kWh-Verbrauch z.B. für 50 km angegeben werden, da hier infolge des stop and go–Betriebs Bremsenergie zurückgespeist werden kann.

Vergleich der Energieinhalte von:

Diesel: 11,8 kWh / kg

Wasserstoff: 33 kWh / kg

Li-Ionen-Batterie.: 0,13 kWh / kg

Zur Verbrennung von 1 kg Super-Benzin werden 15 kg Sauerstoff benötigt.

Hieraus wird deutlich, weshalb ein Auto mit etwa 55 Liter Benzin ca. 800 km fahren kann, denn der rd. 15-fache Anteil des zur Verbrennung nötigen Sauerstoffs wird beim Fahren laufend der angesaugten Luft entnommen.

Beim Elektroauto muss dagegen die gesamte Energie in der Batterie mitgeführt werden, weshalb sie z.Z. noch so groß und schwer ist.

Fahren Elektroautos immer preisgünstig?

Leider nein, wie AUTO BILD im September 2017 berichtete. Um Energie für 100 Kilometer an einer öffentlichen Standard-Ladesäule in der Berliner Innenstadt zu zapfen, musste ein aktueller [VW](#) e-Golf fast vier Stunden für 19,80 Euro an der Ladesäulensteckdose hängen.

**Zum Vergleich betankte die Redaktion einen Golf TSI mit
Verbrennungsmotor.**

**Das Ergebnis: Beim Benziner
reichten 9,65 Euro für 100 Kilometer.**

**Damit waren die Stromkosten für 100 km doppelt so teuer wie das
Tanken von Benzin oder Diesel für 100 km.**

**Wer dagegen zu Hause laden kann, zahlt nur den
Haushaltsstromtarif von etwa 28 Cent pro kWh.**

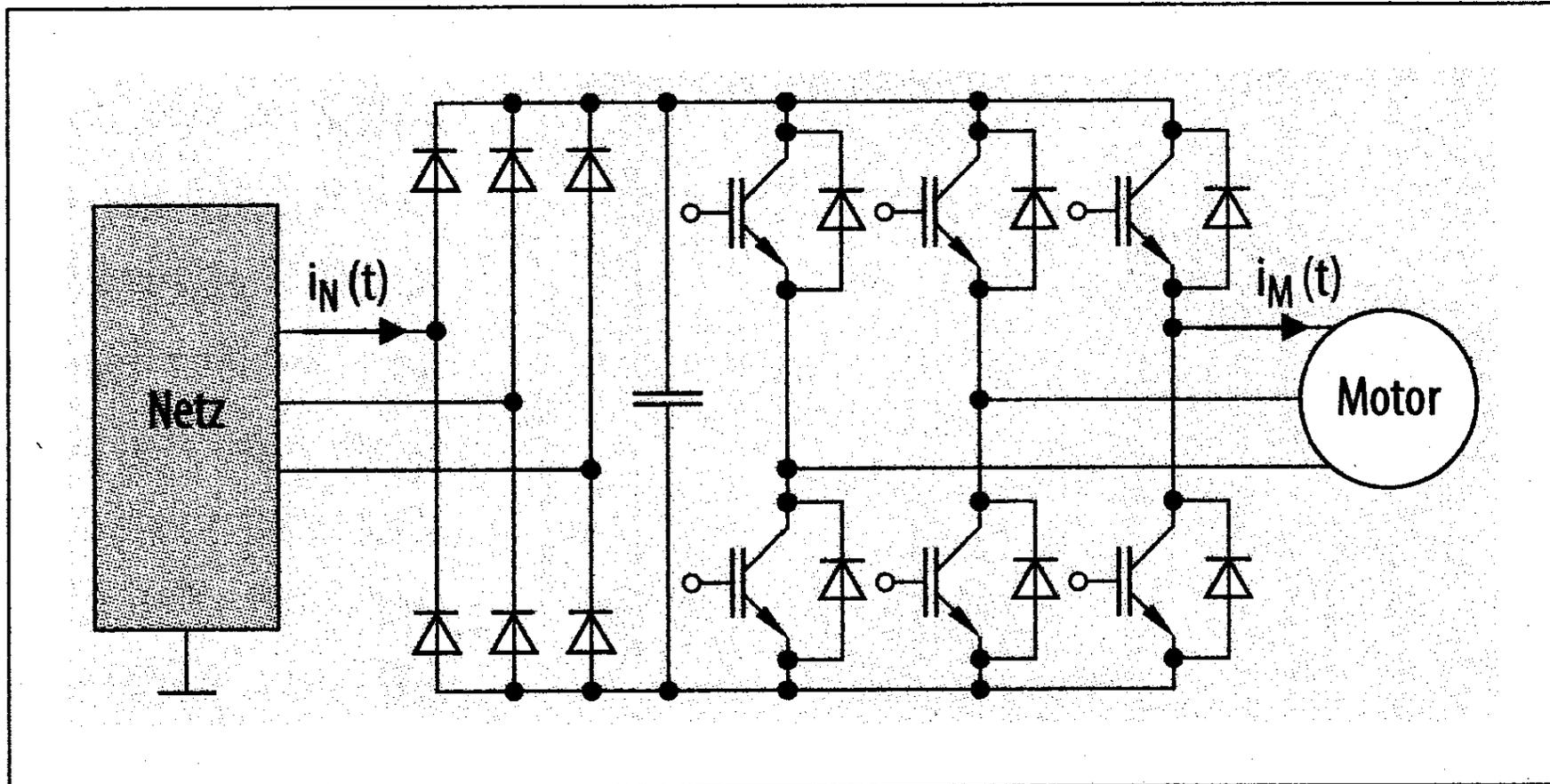
**Für 100 km benötigt ein E-Auto zirka 15 kWh,
d.h. das Laden zu Hause kostet weniger als ein Viertel:**

$$15 \text{ kWh} \times 0,28 \text{ €} = 4,20 \text{ €}$$

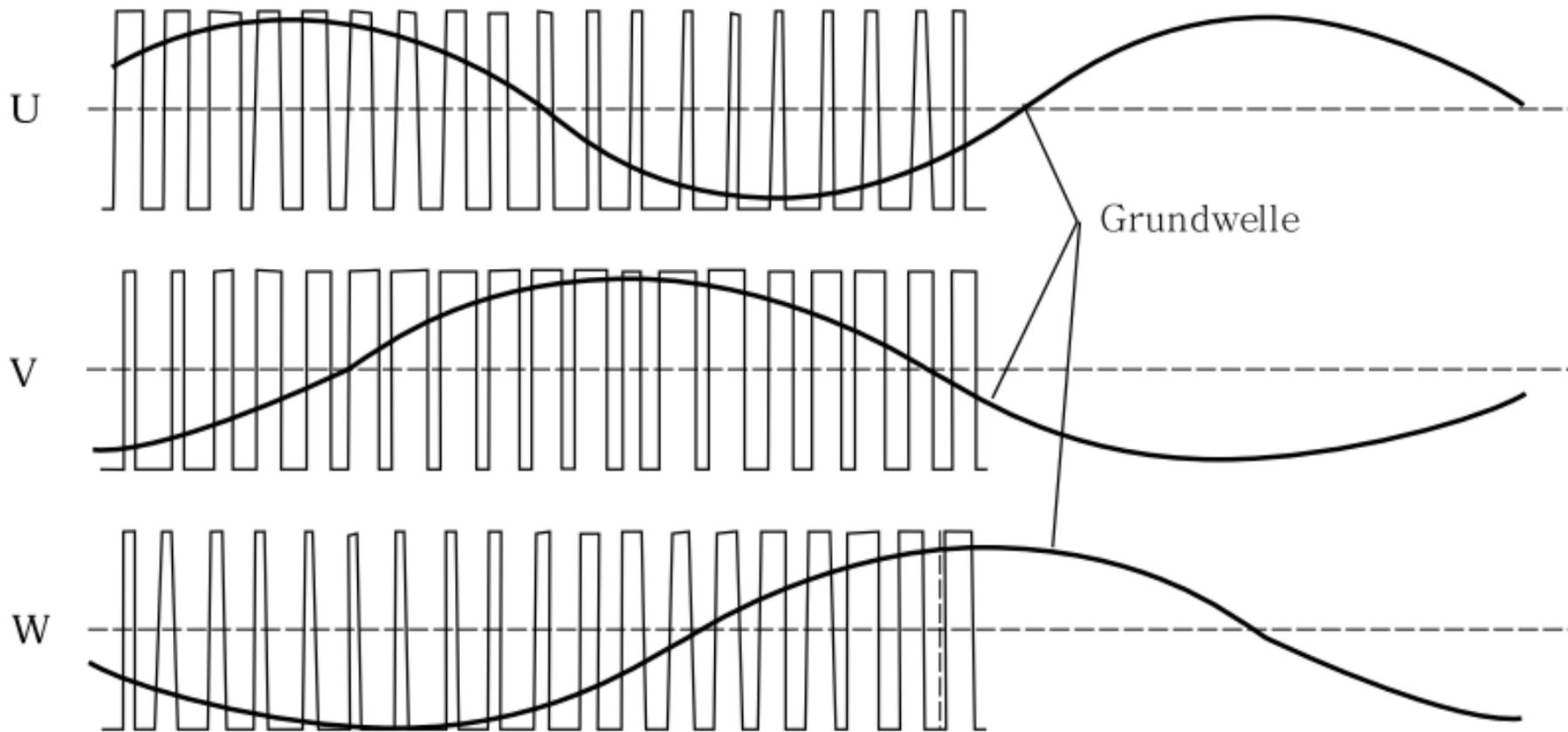
**Ich halte diese Preispolitik an öffentlichen Ladesäulen für
kontraproduktiv und benachteiligt Mieter ohne eigene
Lademöglichkeit.**

Viele der in der EU vorhandenen rd. 60 Mio. Bestands-Laternen (davon rd. 9 Mio. in Deutschland) können relativ preiswert zum Laden ertüchtigt werden und damit den vielen Wohnungsmietern ohne eigenen Stellplatz bzw. Garage die Möglichkeit eröffnen, sich ein E-Fahrzeug anzuschaffen.

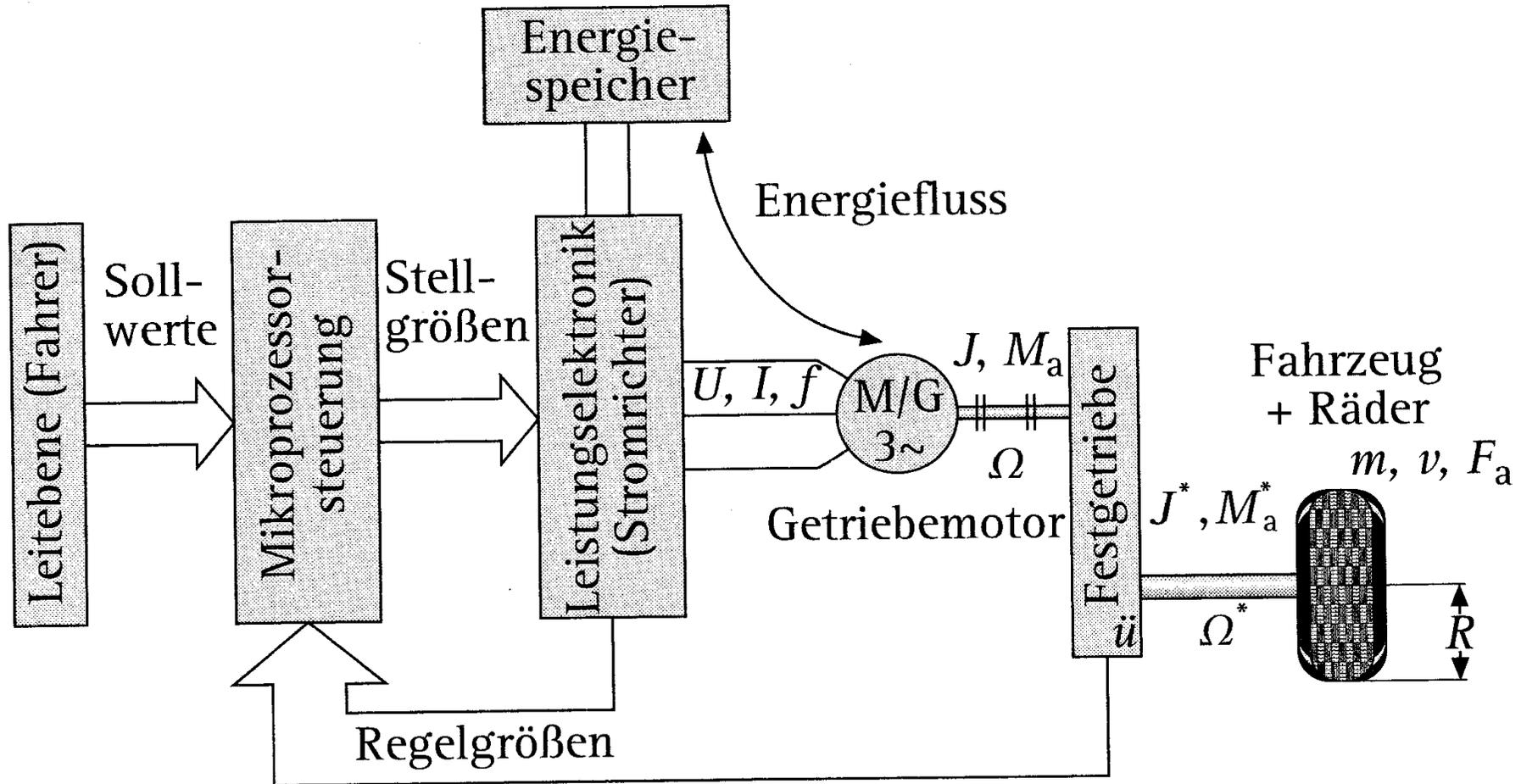
Prinzipien der elektrischen Antriebe



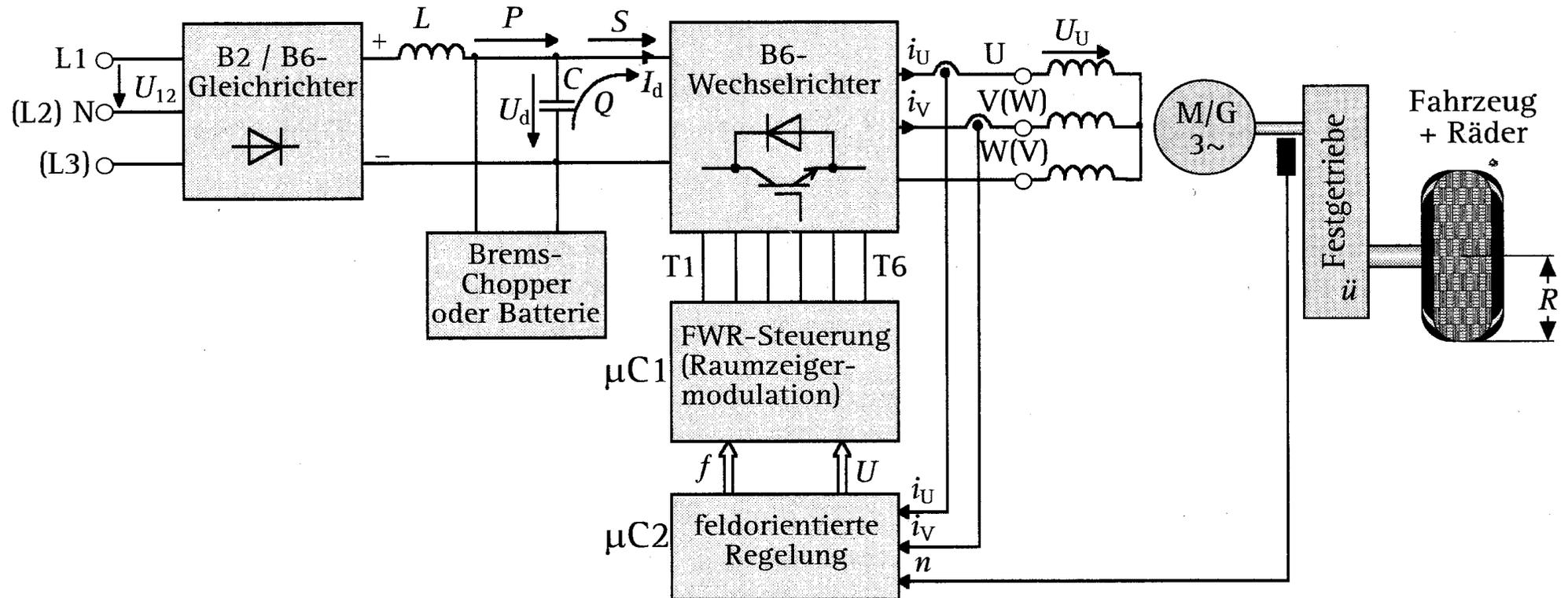
Drehstrom-Frequenzumrichter mit 3 Halbbrücken



Sinusbewertete Pulsweiten-Modulation



Typischer E-Motorantrieb mit Frequenzumrichter



Aufbau eines Vierquadrant-Frequenzumrichter-Antriebs

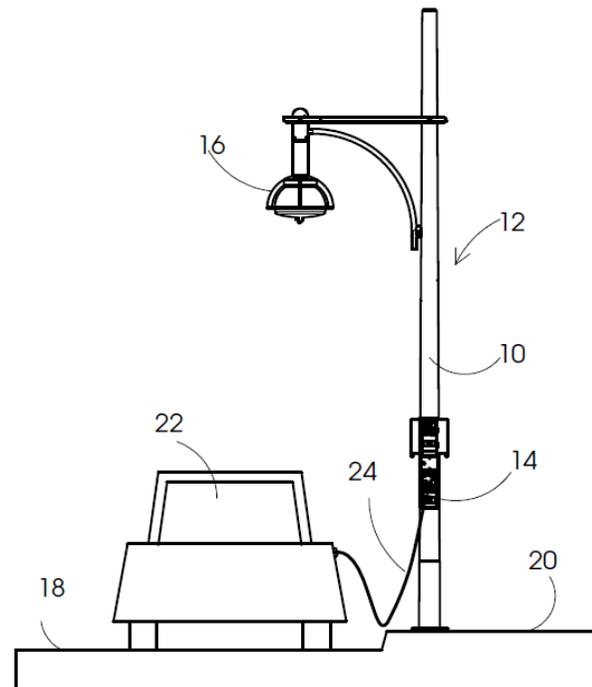
Aktuelle Ladesituation

Elektroautos werden immer besser. Die Reichweite steigt und die Batteriekosten sinken, aber die Ladeinfrastruktur ist noch nicht zufriedenstellend

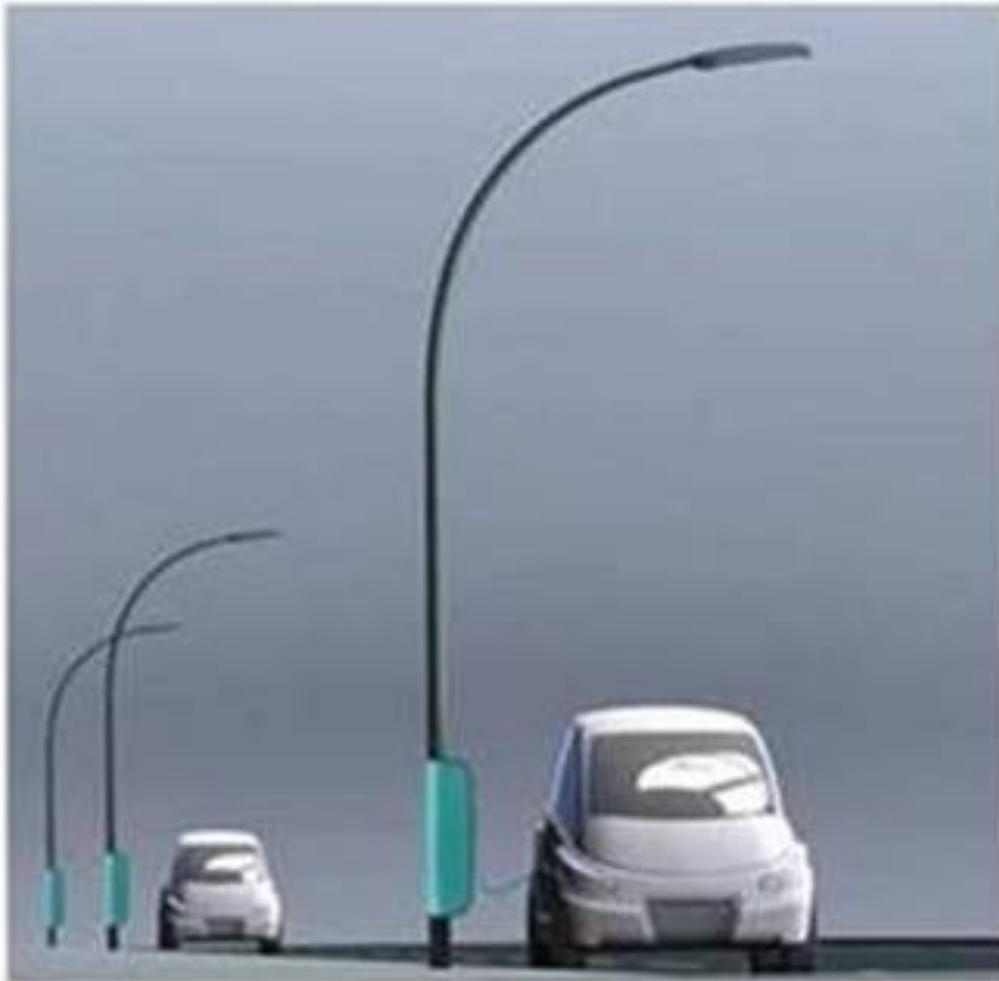
**47,5 Prozent der Deutschen leben in einer Mietwohnung
(Quelle: Eurostat)**

Sie haben keine Garage oder einen eigenen Stellplatz mit einer privaten Lademöglichkeit und sind deshalb auf öffentliche Ladestationen angewiesen.

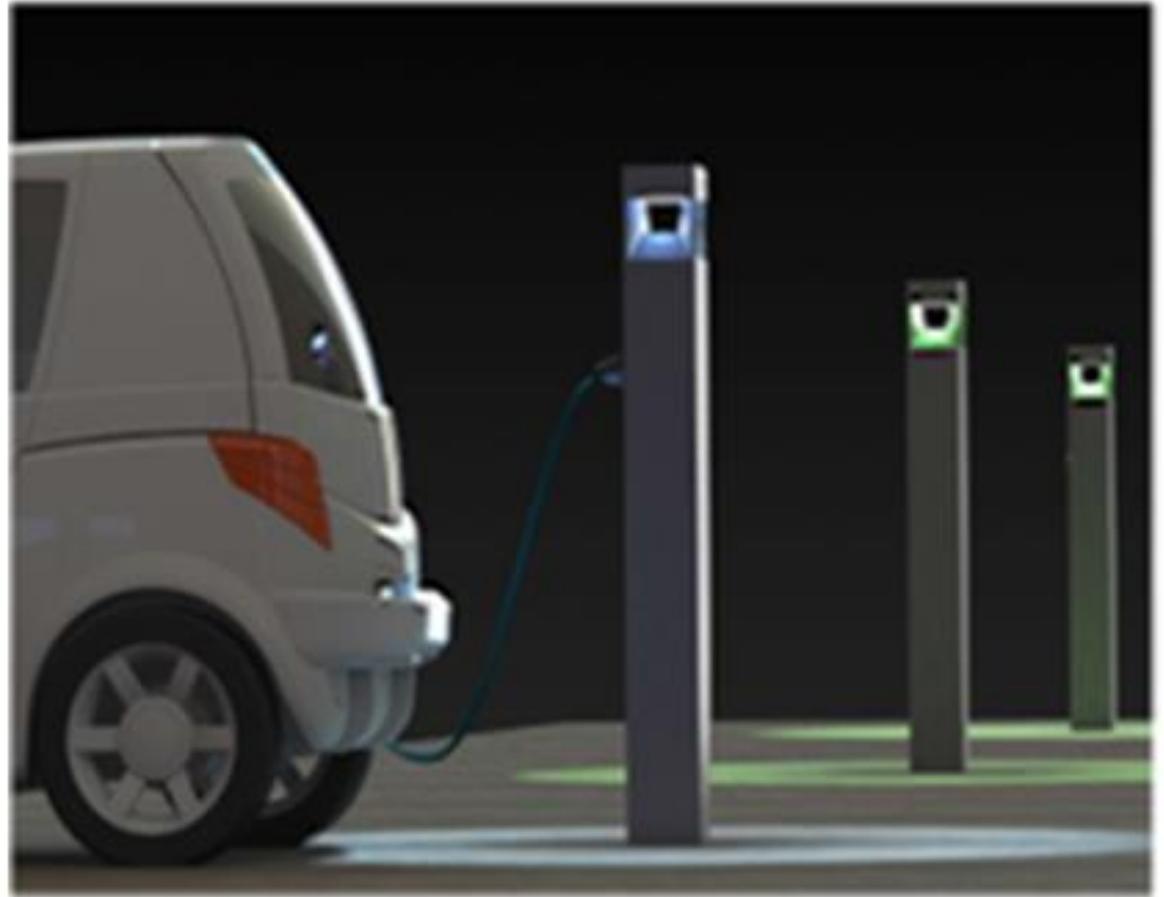
Für diesen großen Personenkreis hat die **Selux AG** die **Laterne mit integrierter Ladestation** entwickelt, so dass die sog. Laternenparker über Nacht in den Wohnstraßen ihre E-Autos aufladen können.



Kombi-Straßenleuchte mit Ladestation für Elektrofahrzeuge



Leuchten mit Ladestation



Leuchten mit Ladestation

Aktuelle Lade-Situation

**Fehlender einheitlicher Ladestecker-Standard
Kein einfaches, überregional funktionierendes
Bezahlungssystem**

Eingeschränkter Park-Laderaum in den Innenstädten

**Die geplante neue Ladesäulenverordnung der
Bundesregierung soll das Laden an allen öffentlichen
Ladestationen ohne ein Vertragsverhältnis mit dem
Stromlieferanten oder dem Ladesäulenbetreiber
ermöglichen.**

Es gibt unterschiedliche Ladeszenarien:

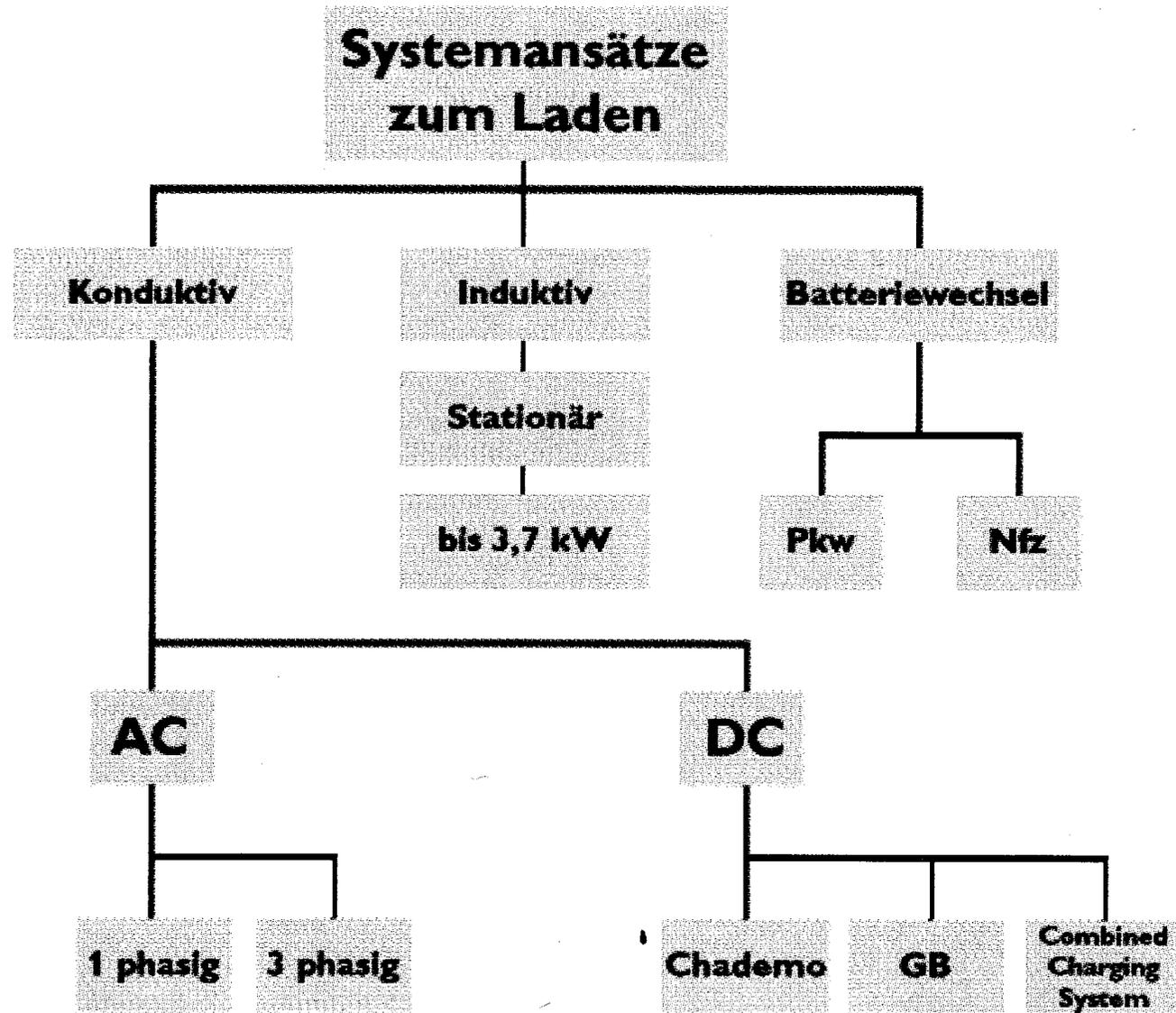
AC-Laden mit Wechselstrom

1-phasig / 230V und 3-phasig / 400 V (Drehstrom)

sowie

DC-Laden mit Gleichstrom

bis 1000 V



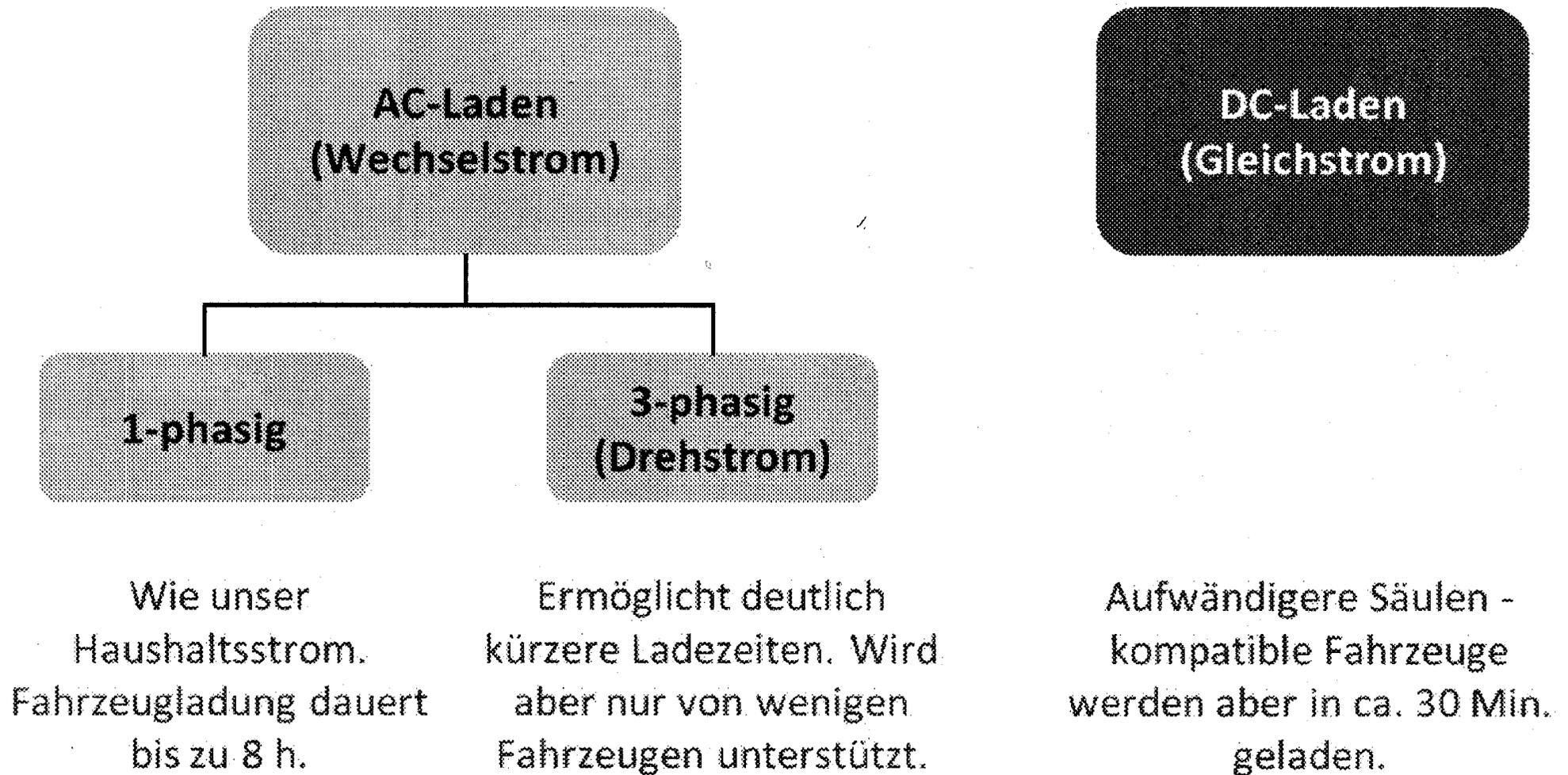
Langsames Laden von Elektrofahrzeugen über eine längere Zeitspanne am Wohnort, am Arbeitsplatz, im Hotel usw. mittels ein- oder dreiphasiger Wechselspannung

bis 3 kW (230 VAC), bis 11 kW (400 VAC)

Schnelles Laden an öffentlichen Ladestationen mit Drehstrom bis 44 kW oder Gleichspannung bis 50 kW

Superschnelles Laden an Autobahnen mit DC-Ladestationen

bis 350 kW, 1000 V



Laden mit Wechsel-, Dreh- und Gleichstrom

Normung

ISO – International
Organization for
Standardization

IEC – International
Electrotechnical
Commission

CEN – European
Committee for
Standardization

CENELEC – European
Committee for Electro-
technical Standardization

DIN – Deutsches
Institut für Normung

DKE – Deutsche
Kommission Elektrotechnik
Informationstechnik

ANSI – American
National Standards
Institute

SAE International
– Society of Automotive
Engineers

UL – Underwriters
Laboratories

SAC – Standardization
Administration of the
People's Republic of China

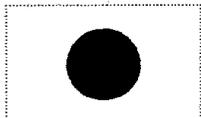
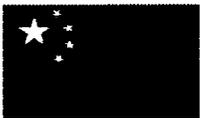
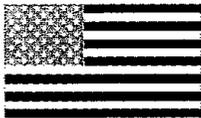
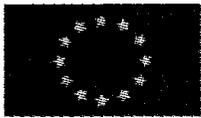
JIS – Japanese Industrial
Standards

Verbände

ACEA – European
Automobile
Manufacturers
Association

VDA – Verband der
Automobilindustrie

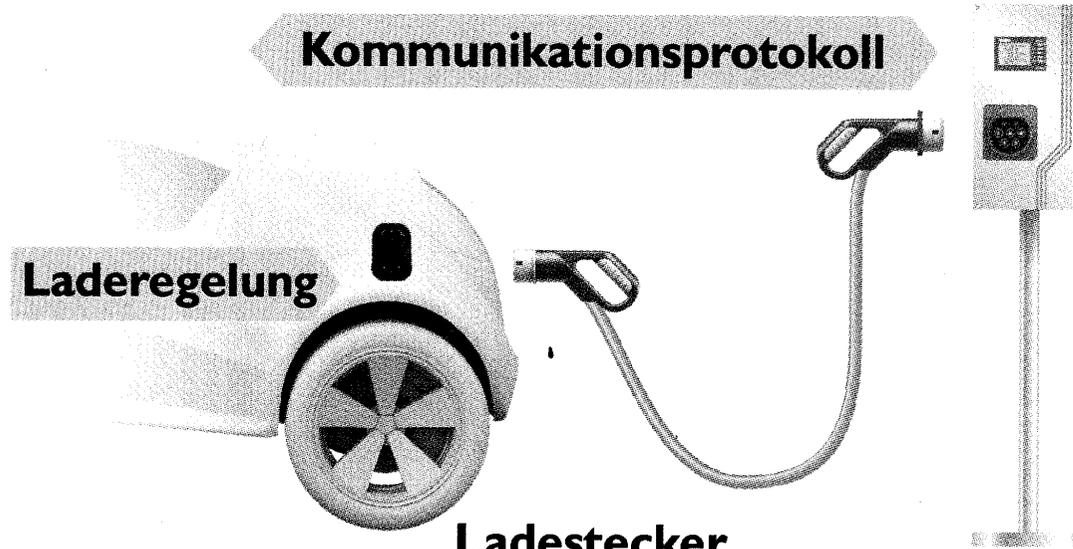
ZVEI – Die
Elektroindustrie



IEC 61851 - 24
ISO / IEC 15118

Kommunikationsprotokoll

Laderegelung



Ladestecker

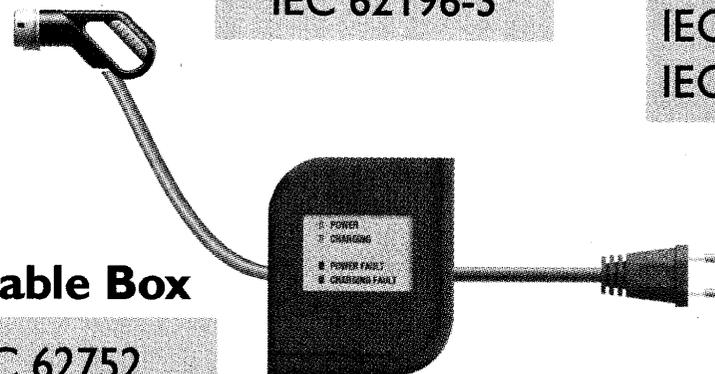
IEC 62196-1
IEC 62196-2
IEC 62196-3

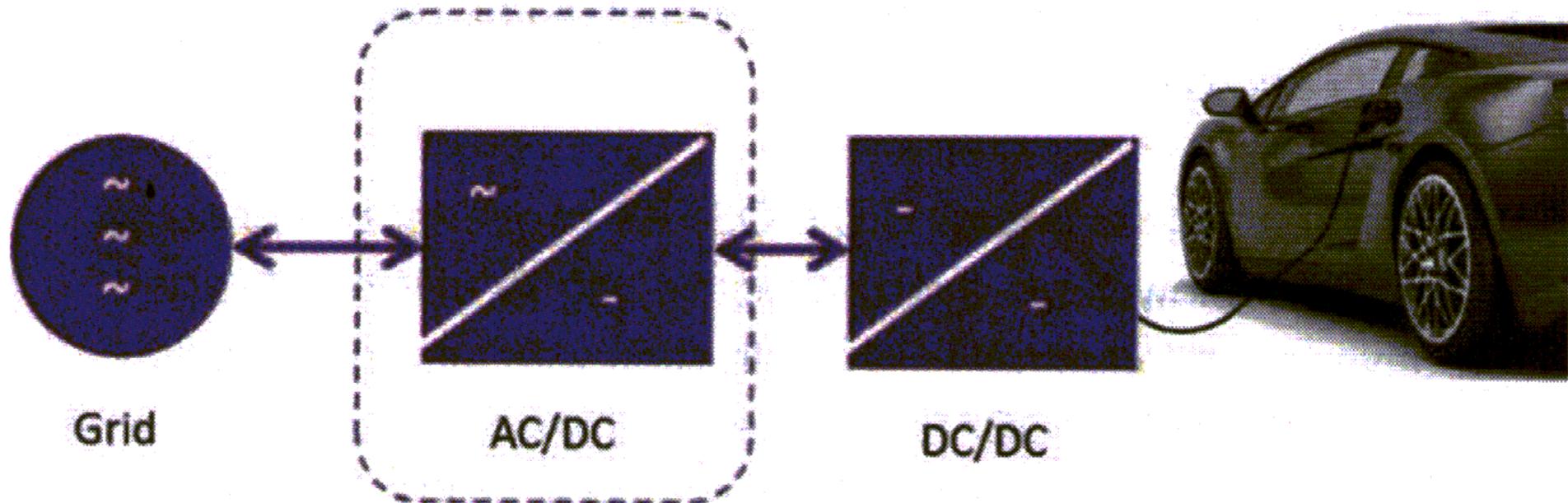
Ladesäule

IEC 61851-22
IEC 61851-23
IEC 60364-7-722

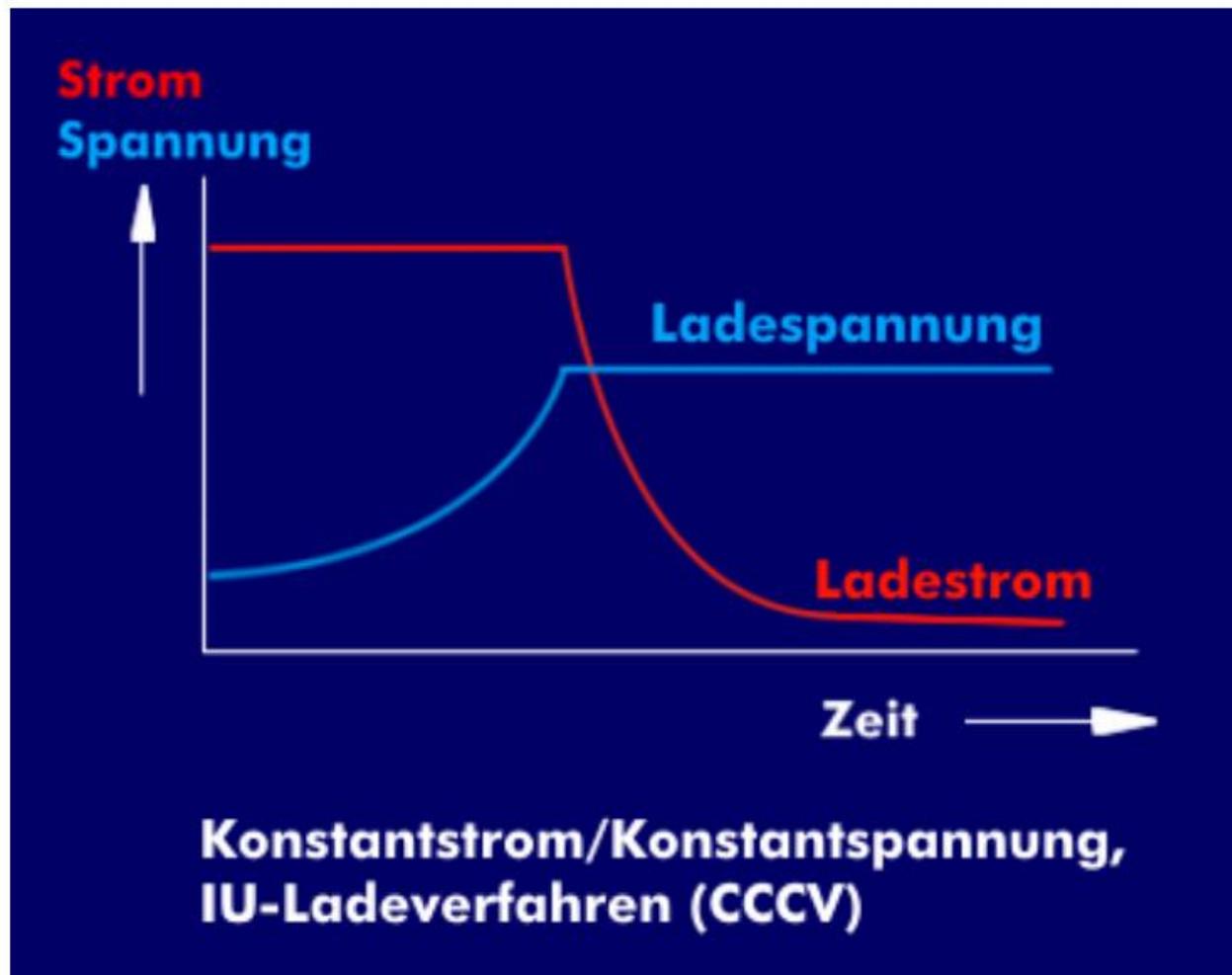
In Cable Box

IEC 62752



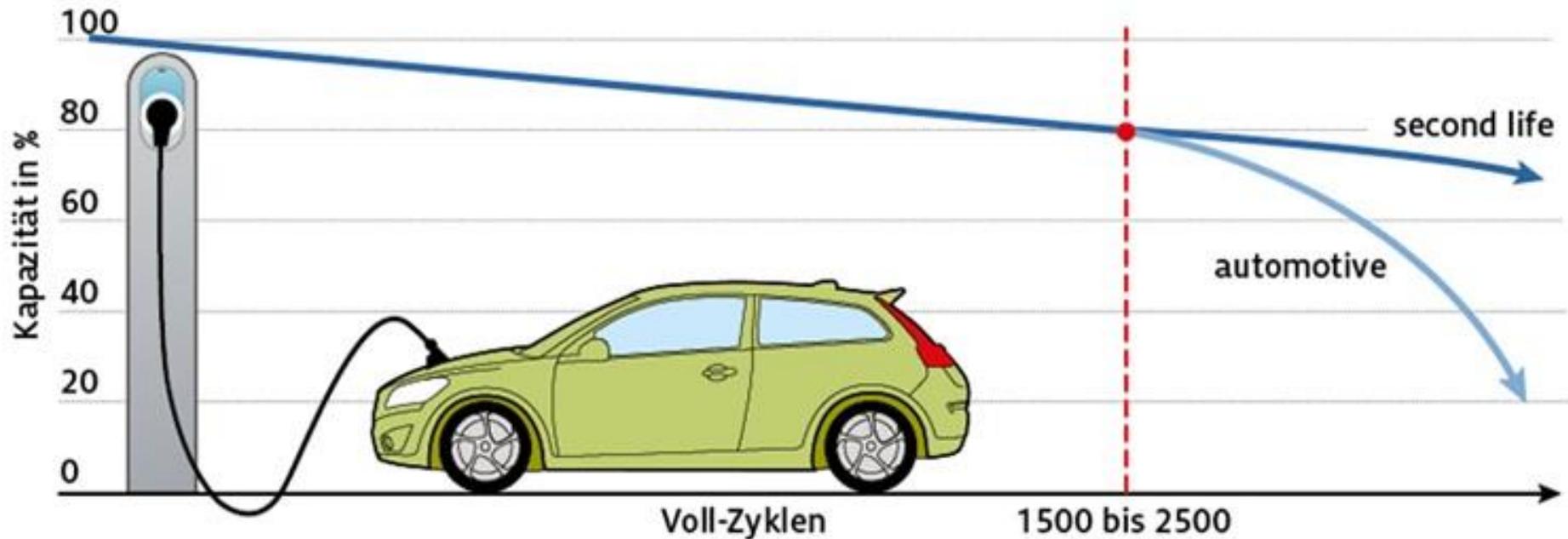


Blockschaltbild eines 3-Phasen AC / DC Ladesystems für Elektroautos



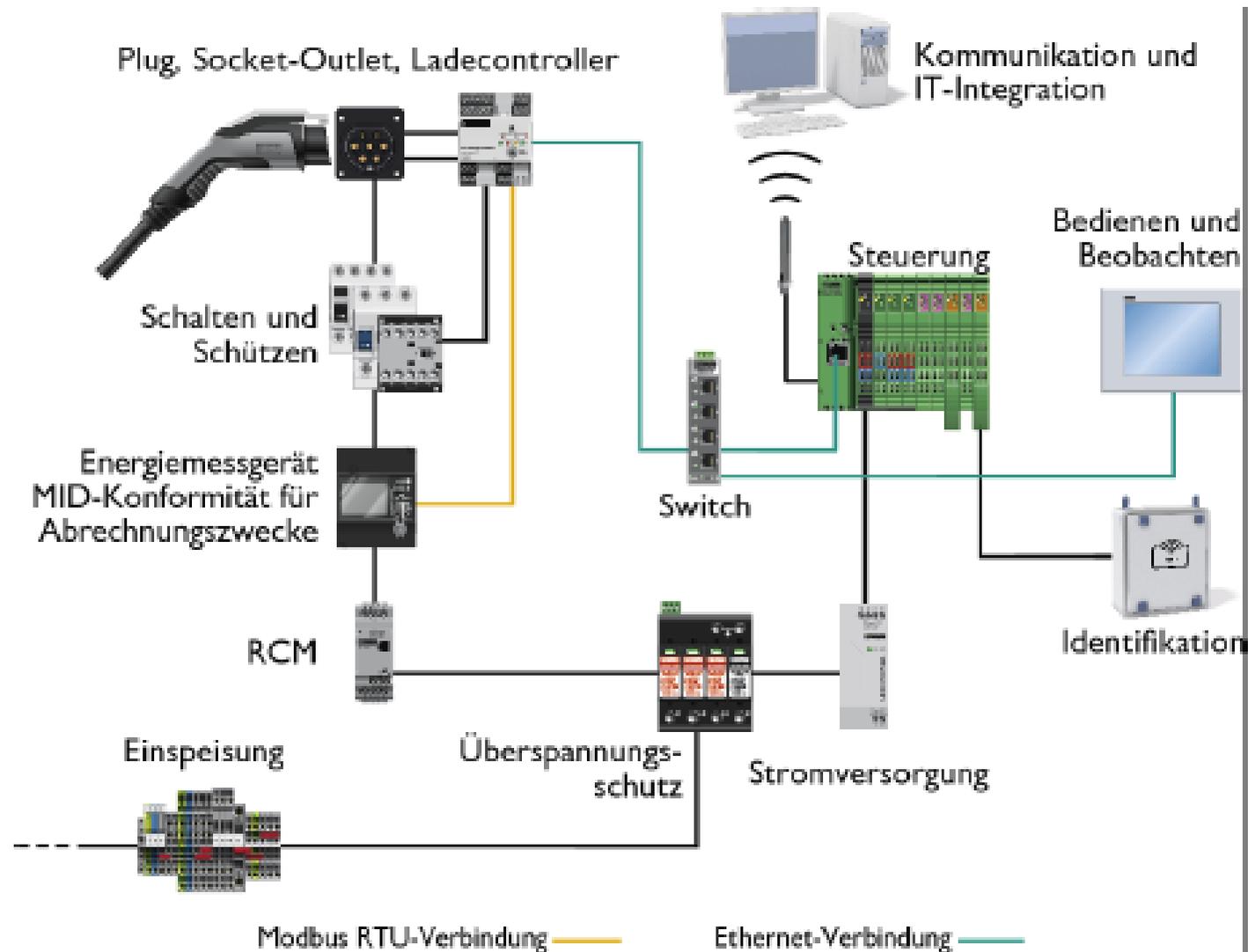
**I U – Ladeverfahren mit Konstantstrom und –spannung
für Lithium-Ionen-Batterien**

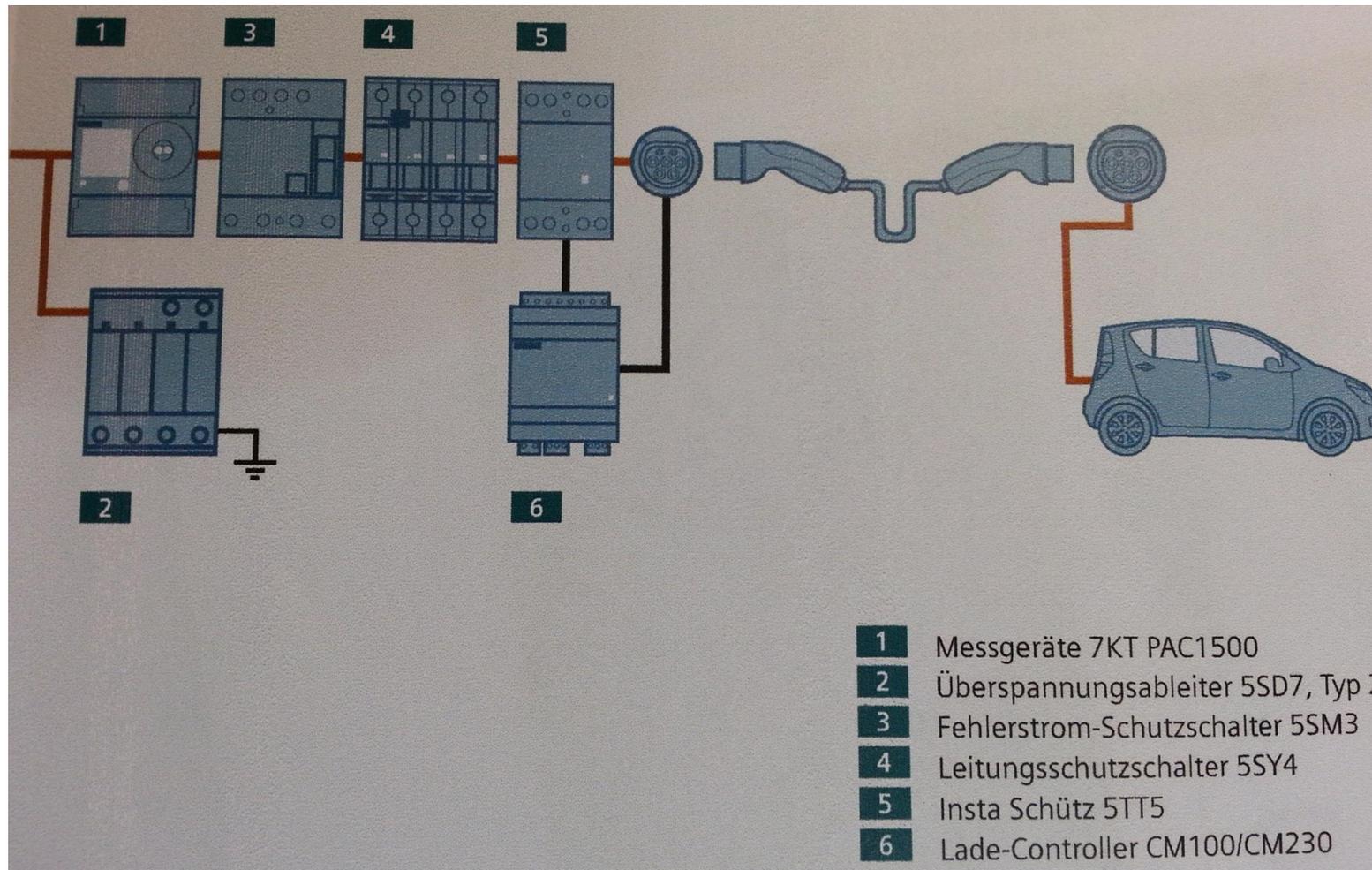
Wie lang ist ein Akkuleben?



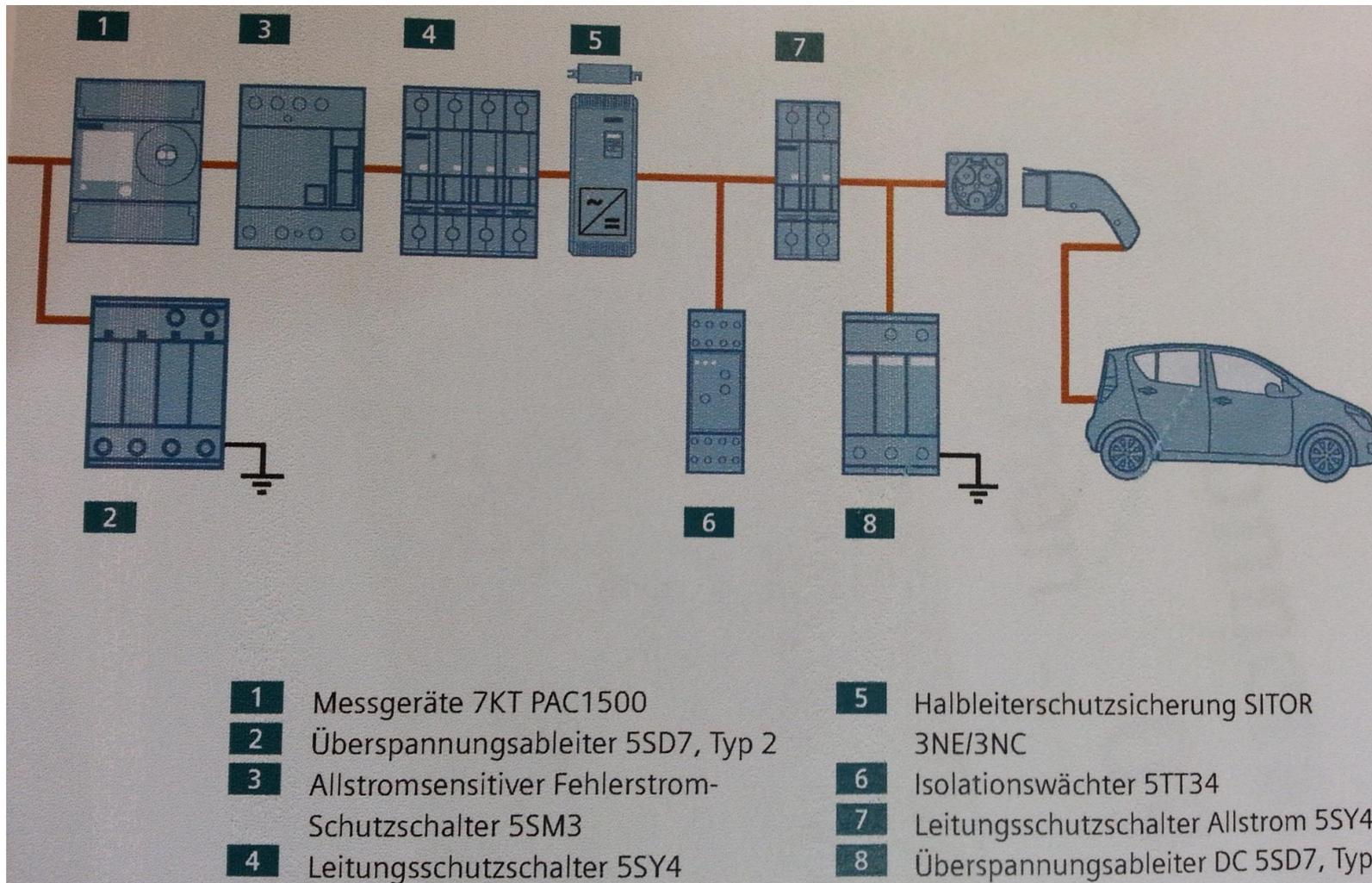
Batterien verlieren mit dem Alter an Kraft. Nach 1500 bis 2500 Entladungen erreichen Sie die Schwelle von 80 Prozent Restkapazität. Anschließend altern sie rapide, die Reichweiten werden inakzeptabel. Deshalb mustert man sie bei diesem Schwellenwert aus und führt sie einem zweiten Leben zu – als stationärer Stromspeicher im Haus. Hier wird der Akku weniger belastet und hält noch viele Jahre durch.

Ladepunkt modulare Bauweise

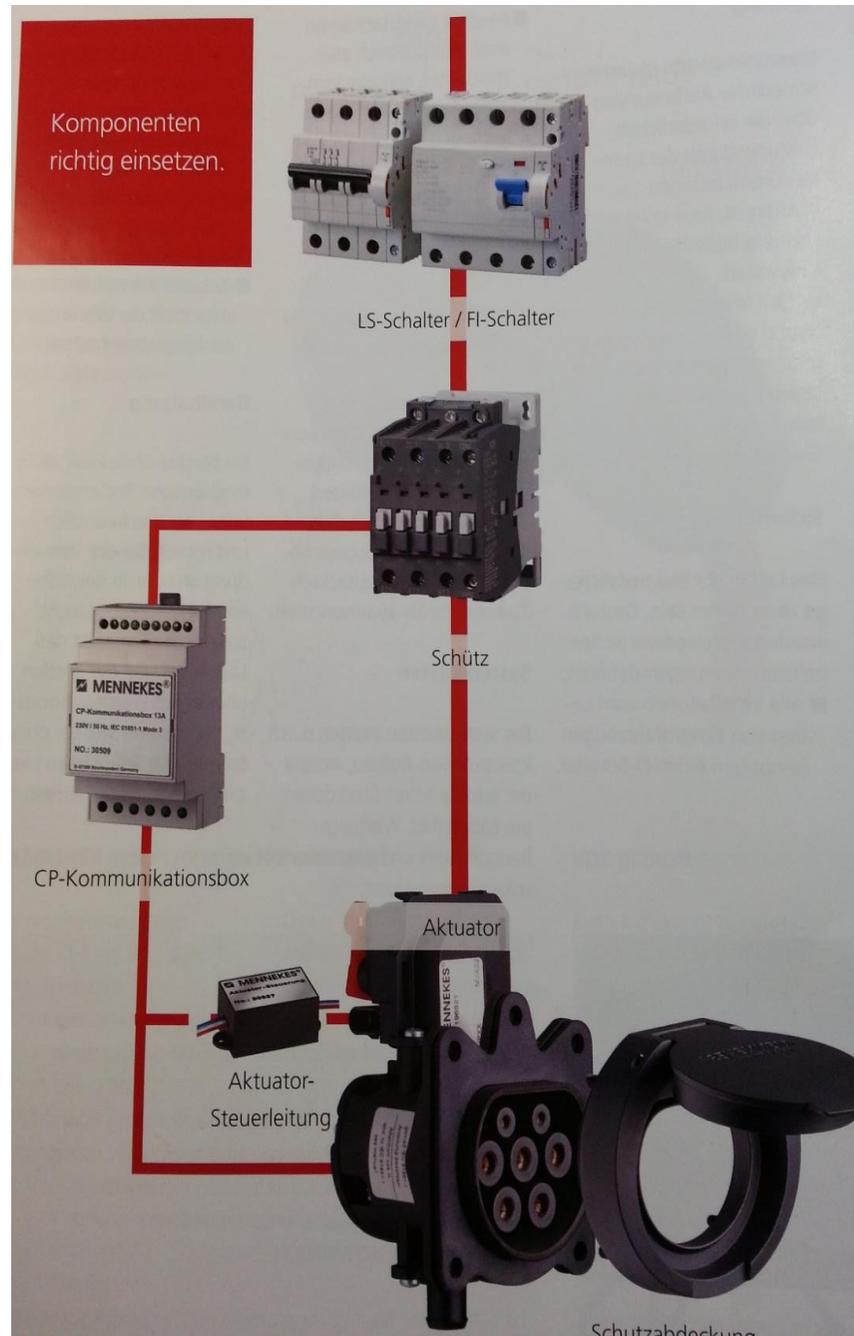


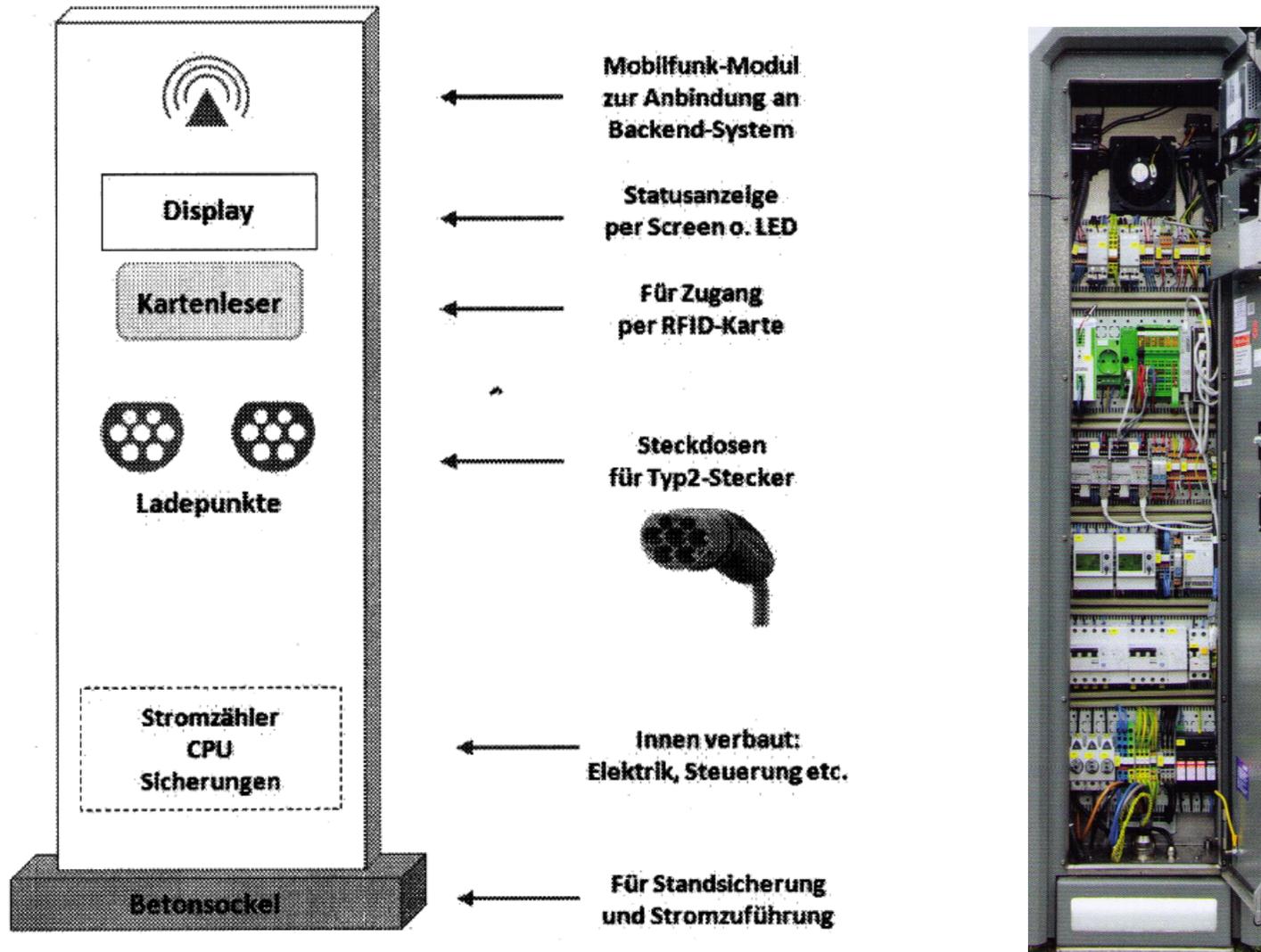


Blockschaltplan einer AC-Ladestation



Blockschaltplan einer DC-Ladestation





Aufbau einer AC-Ladesäule

Combined Charging System – ein System für AC- und DC-Laden

| Ladepunkt | Funktionen | Stecker | Kommunikation | Ladedose |
|-------------------|--|---|---------------|---|
| AC 1-/3-phasig | 1-phasiges AC-Laden/ 3-phasiges AC-Laden mit Stecker Typ 2 IEC 62196-2 | Typ 2  | ISO 15118 |  |
| DC | DC-Laden mit Stecker Combo 2 IEC 62196-3 | Combo 2  | ISO 15118 |  |

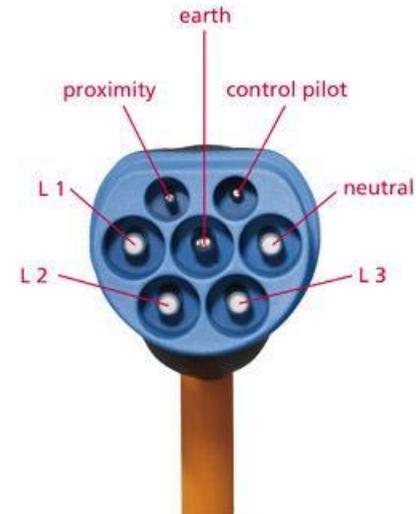


CCS-Steckverbindung (Combined Charging System)

CCS ermöglicht Gleichstromladen und Wechselstromladen mit nur einer Steckverbindung am Fahrzeug

Ende 2017: 7000 CCS-Ladepunkte weltweit, davon 4400 in Europa

Ladestecker Typ 2 (Mennekes)



Typ 2 ist die Bezeichnung für den Stecker, welcher in Europa für die Ladung von Elektrofahrzeugen an fast allen Ladesäulen gedacht ist.

Daneben verfügt der Stecker über zusätzliche Pins zur Kommunikation zwischen Elektroauto und Ladestation. Es wird signalisiert, welche Leistung das eingesetzte Ladekabel sowie die Ladestation unterstützt und das Auto teilt den Leistungsbedarf mit.



Das CHAdeMO-Schnellladesystem mit Gleichstrom

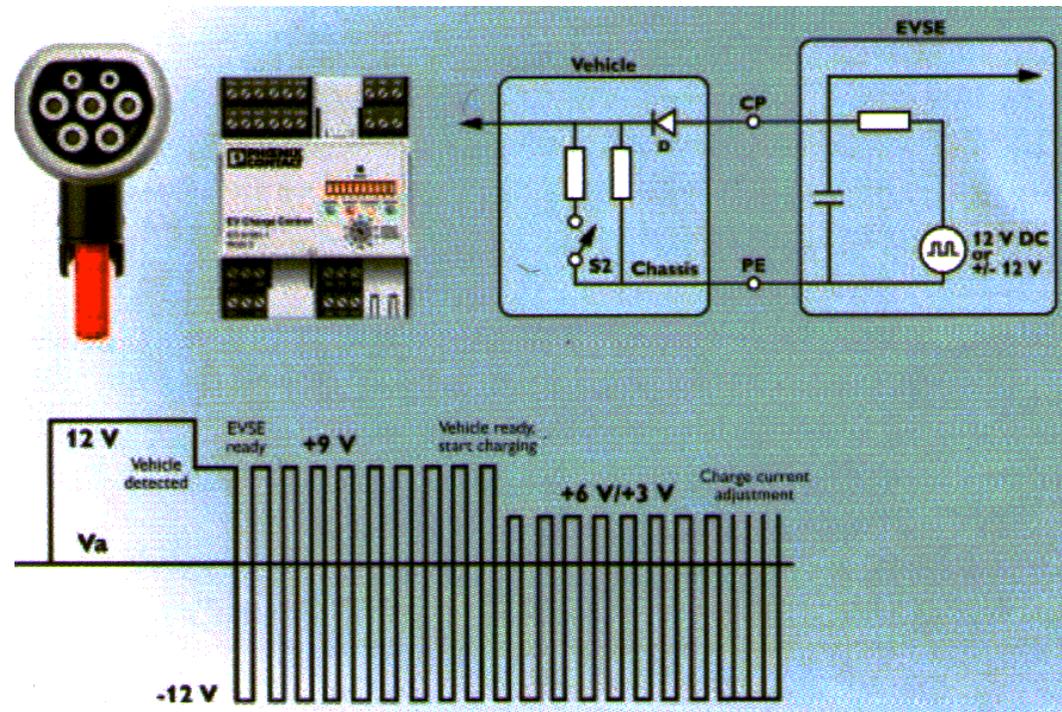
ist in Japan in den USA und auch in Europa eingeführt.

Mit dieser in Japan entwickelten Schnittstelle kann die Batterie eines Elektrofahrzeuges mit einer elektrischen **Leistung von bis zu 400 kW** geladen werden und wird von den meisten japanischen E-Fahrzeugen verwendet.

CHAdeMO bedeutet auf Japanisch:

„Auf eine Tasse Tee“

Ende 2017: 17700 Weltweit, davon 6060 in Europa

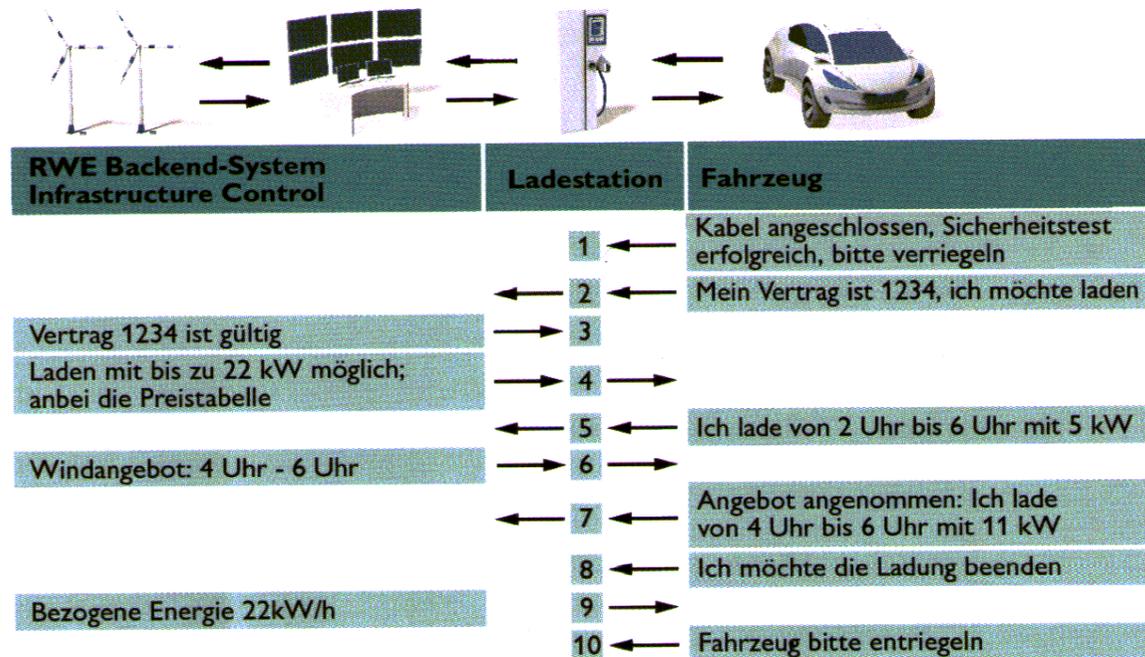


| | | | | |
|------------------|-------------------------------|--------------------------|---------------|---|
| Widerstand CP-PE | offen | 2700 Ω | 880 Ω | 240 Ω |
| Fahrzeugstatus | A kein Fahrzeug angeschlossen | B Fahrzeug angeschlossen | C Laden aktiv | D Laden aktiv, Ventilation erforderlich |

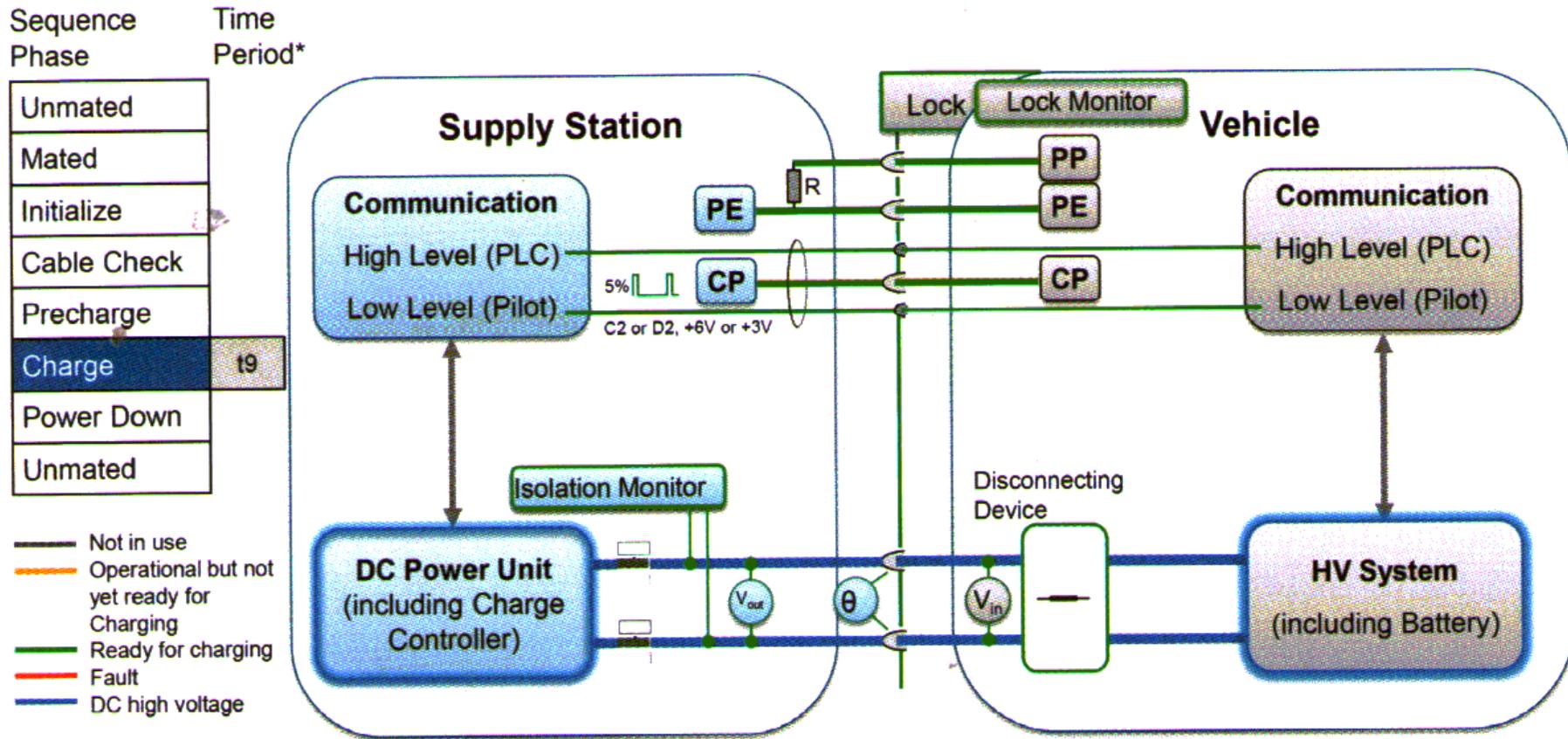
Control-Pilotsignal (CP-PE) nach IEC 61851

| | | | | |
|-------------------|--------------------|--------------------|------------------|------------------|
| Widerstand PP-PE | 1500 Ω | 680 Ω | 220 Ω | 100 Ω |
| Max. Ladestrom | 13 A | 20 A | 32 A | 63 A |
| Leiterquerschnitt | 1,5mm ² | 2,5mm ² | 4mm ² | 6mm ² |

Proximity-Pilot (PP-PE) Widerstandscodierungen nach IEC 61851



Ladevorgang nach IEC 15118



CCS - Ladestrategie

| Ladetechnik | Wallbox | AC-Ladesäule | DC-Ladesäule |
|---|------------------|---------------------|---|
| Ladeleistung | > 3,7 kW | ~ 11 – 22 kW | 50 kW |
| Hardware | 1.200 € | 6.000 € - 8.000 € | 30.000 € |
| Netzanschlusskosten | 0 – 2.000 € | 2.000 € | bis 50.000 € u. mehr |
| Genehmigung / Projektierung | 500 € | 1.000 € | 1.500 € |
| Installation / Beschilderung | 500 € | 2.000 € | 3.500 € |
| Summe Investition (CAPEX) | 2.200 € | 12.000 € | 35.000 € zzgl. Netzanschluss |
| Betrieb / Wartung / Backend (OPEX) | 1.000 €/a | 1.500 €/a | 3.000 €/a |

Nettokosten von Ladestationen



Ladesäulen mit Typ-2 (AC)-, CCS-Combo-2(DC) und CHAdeMO (DC)-Anschlüssen



**Bidirektionale Ladetechnologie mit
V2G (Vehicle to Grid), 2017**

Da die öffentliche Straßenbeleuchtung ohnehin vom Steuerzahler finanziert wird, sollte die Zusatzausstattung mit der Ladetechnik (sog. Kombi-Laternen) auch aus Steuermitteln bezahlt werden.

Der Unterhalt ist auch vom Staat zu finanzieren, wobei hier der Ladestrom im Gegensatz zum Beleuchtungsstrom vom Ladekunden bezahlt wird.

Ein Zeittarif und ein stark überhöhter kWh-Preis wie bei vielen derzeit üblichen Ladesäulen, benachteiligt signifikant Mieter gegenüber Besitzern einer eigenen Garage / Stellplatz mit zeitunabhängiger Ladung zum Normal-kWh-Preis.

So wie die Straßenbeleuchtung der allgemeinen Sicherheit in der Nacht dient, dient die öffentliche Laternenladeinfrastruktur indirekt der Luftreinhaltung und Lärm-minderung in den Städten und damit der Gesundheit der Bevölkerung!

Der Schlüssel zum Erfolg der E-Mobilität ist, die Ladestationen dort zu haben, wo Autos lange stehen:

Auf Behörden- und Firmenparkplätzen, auf privaten Grundstücken und im öffentlichen Raum, speziell in Wohnstraßen, da auch hier die E-Fahrzeuge in den Nachtstunden stehen.

**Die Nationale Plattform Elektromobilität,
das Beratergremium der Bundesregierung,
fordert deshalb:**

Pro Elektroauto eine Lademöglichkeit

In Deutschland gibt es z. Z. etwa 60.000 reine E-Fahrzeuge,
ca. 50.000 Plug-In Hybrid Autos (PHEV)

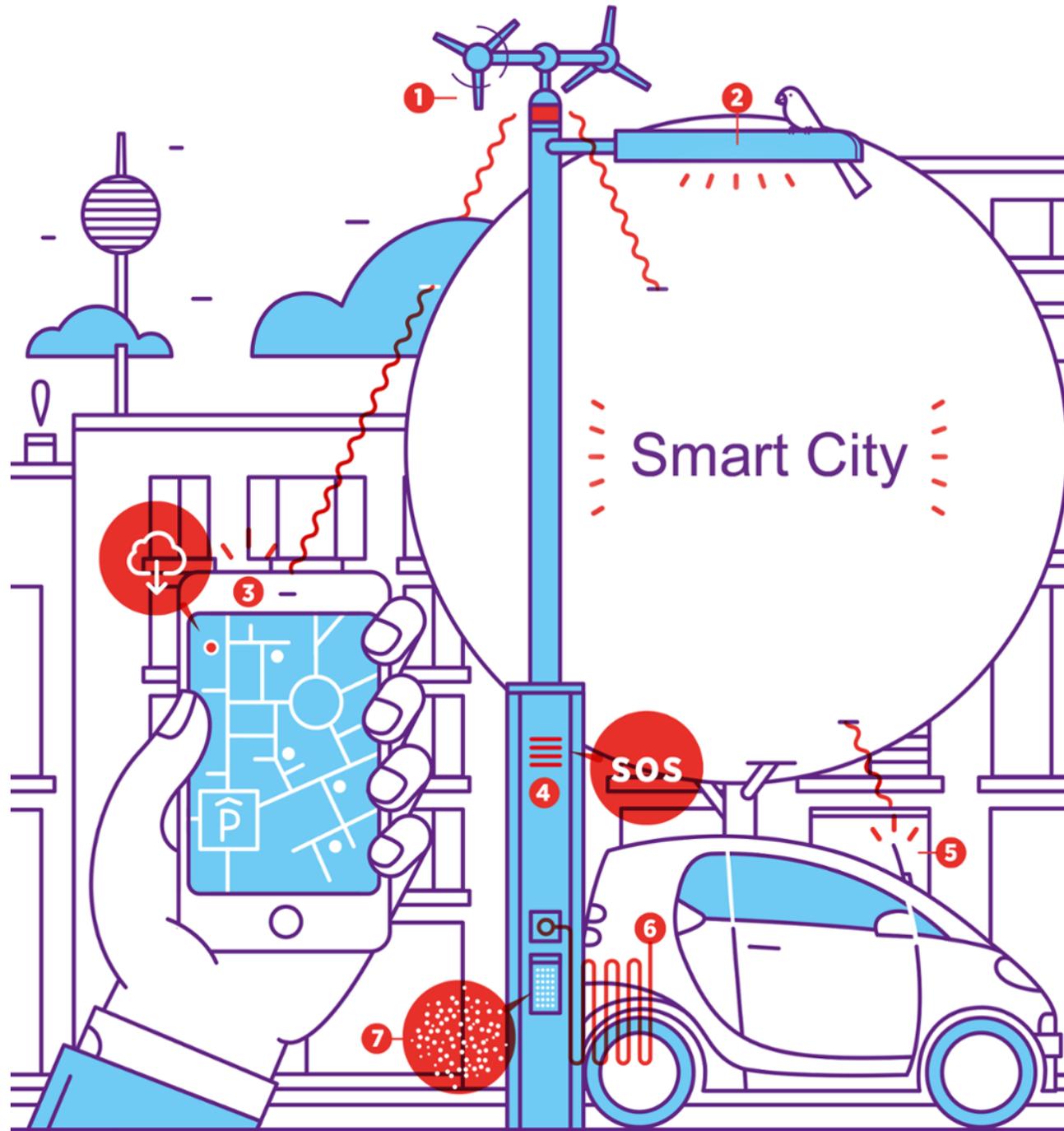
und dazu 10.700 öffentliche Ladepunkte sowie 530 Schnell-
Ladepunkte und 60 Tesla-Supercharger.

In Skandinavien sind inzwischen 200.000 E-Autos und
Plug-in-Hybride zugelassen!

In China gibt es bereits 127.000 Ladepunkte

.In Berlin gibt es rd. 220.000 öffentliche Straßenleuchten, in Deutschland rd. 9 Millionen und in Europa 60 Millionen.

Ein Großteil der Straßenlaternen in Europa wird bis 2030 ausgetauscht und um neue Funktionen erweitert, z.B. als WLAN-Sender, Notrufsäule, zur Verkehrs- und Parkraumüberwachung, für Umweltmessungen als E-Auto-Ladestation, Überwachungskamera usw..



Die Kombination von Leuchten mit Ladestationen ist kostengünstiger als die Aufstellung separater Ladesäulen!

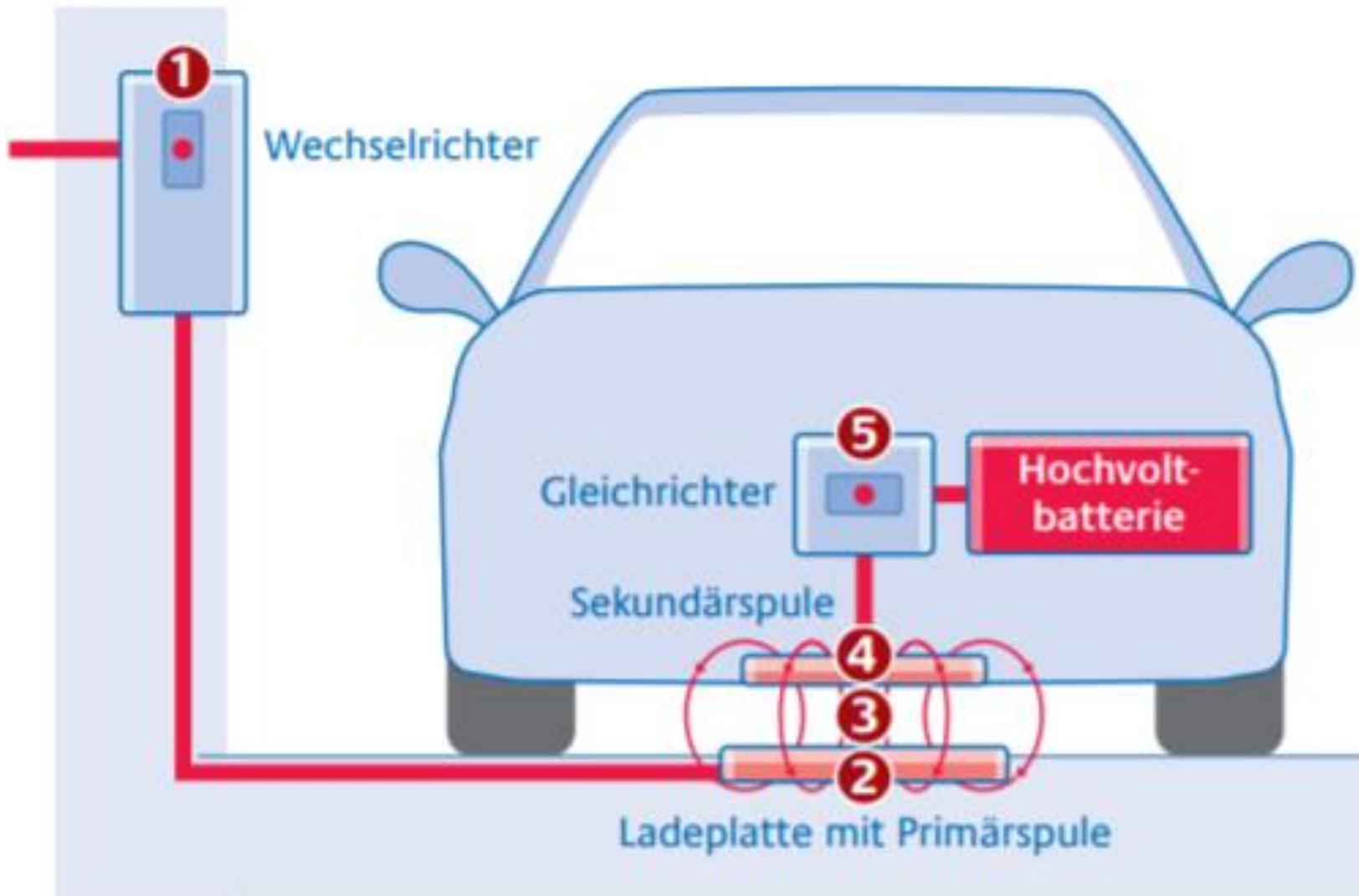
Wie bekannt, sind auch die meisten Stadtarchitekten gegen eine zunehmende Zahl von Stadtmöbeln in Form von einzelnen Ladestationen, die **zwischen** den Laternen installiert werden.

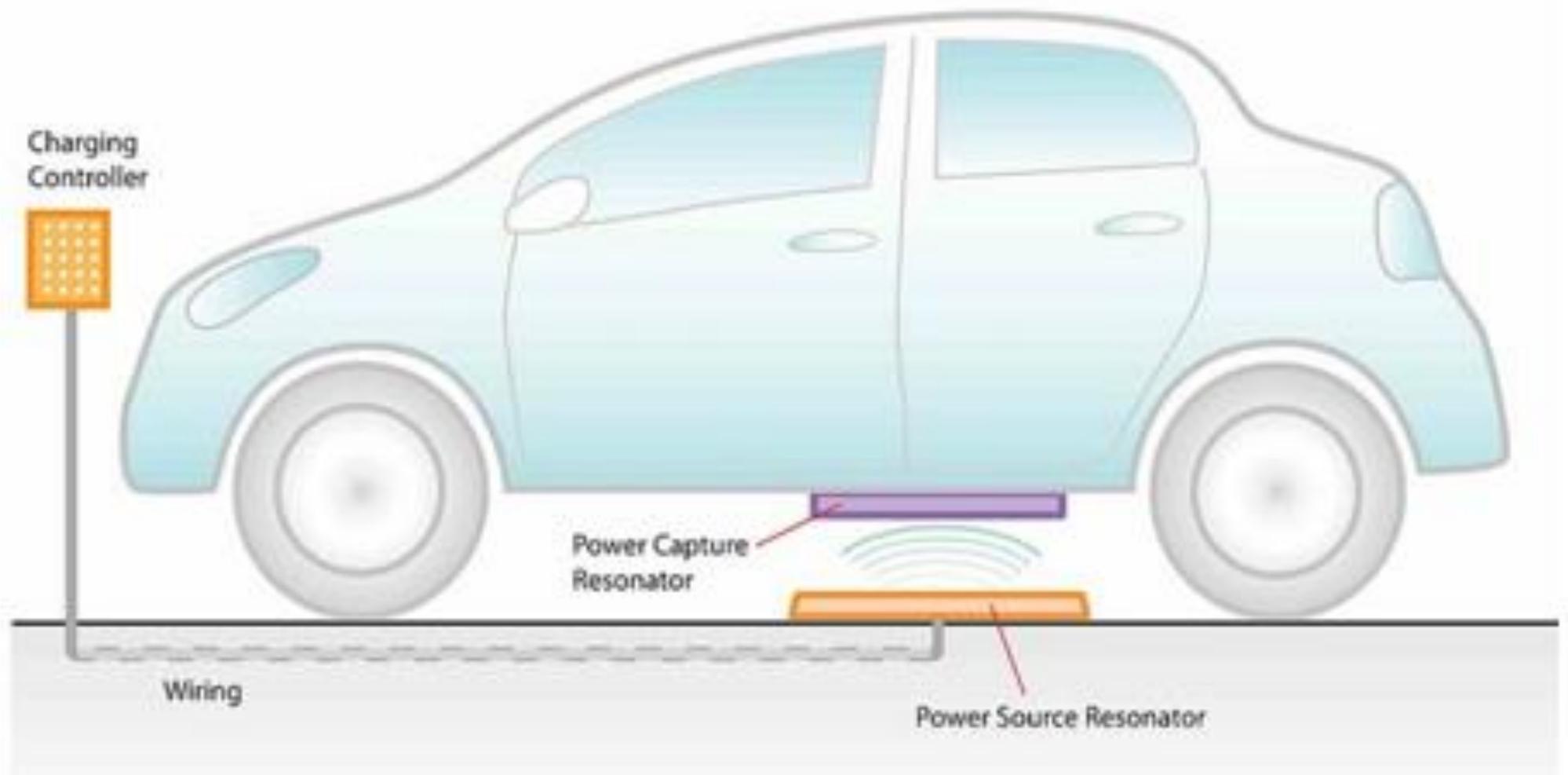
Vorteilhaft ist auch, dass die Laternenladestation in den Dunkelstunden beleuchtet ist.

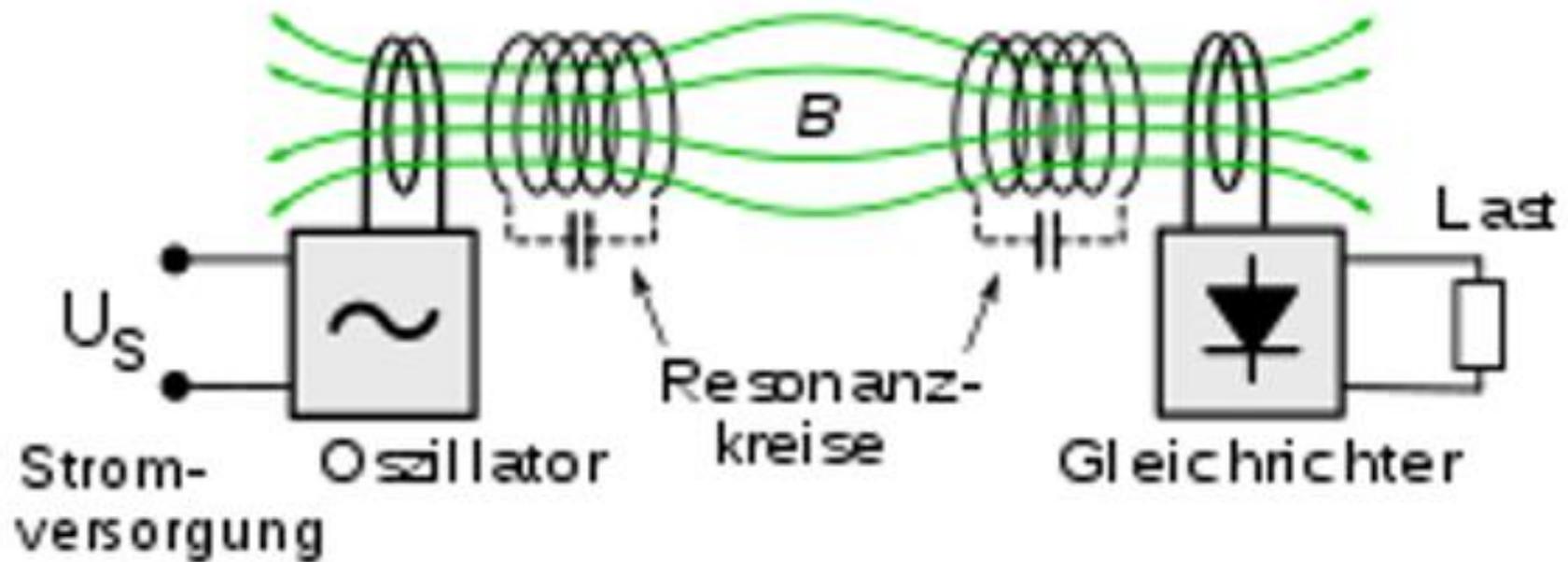
Zukünftig wird auch das Induktionsladen mit Leistungen bis etwa 8 kW an Bedeutung gewinnen für das langsame Laden zu Hause, am Arbeitsplatz, an Ladestationen in den Wohnstraßen und für Hotelparkplätze.

Das Induktionsladen bietet einen sehr hohen Ladekomfort und ist noch einfacher und bequemer als das jetzige Tanken von Benzin oder Diesel.

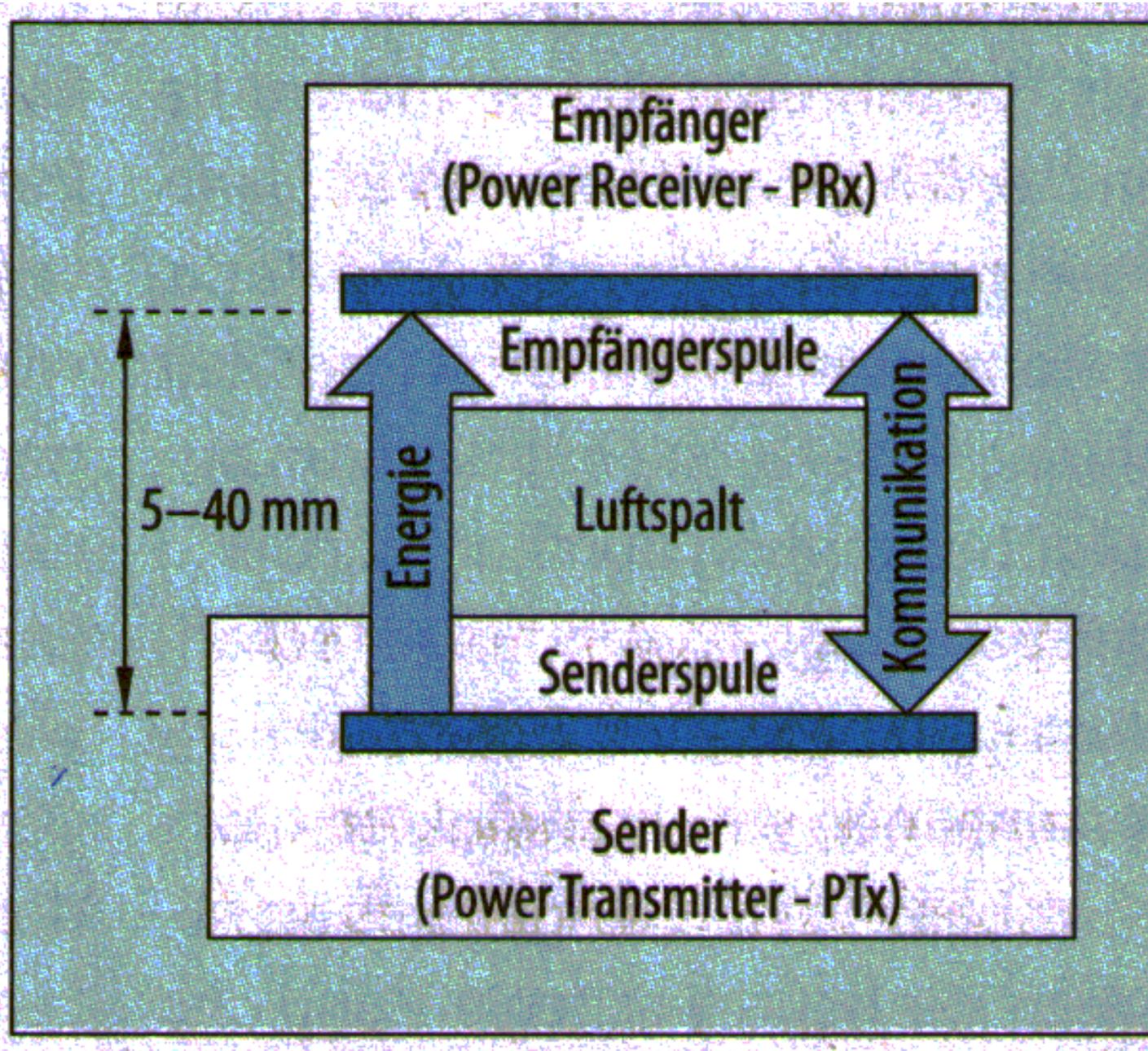
Prinzip des induktiven Ladens



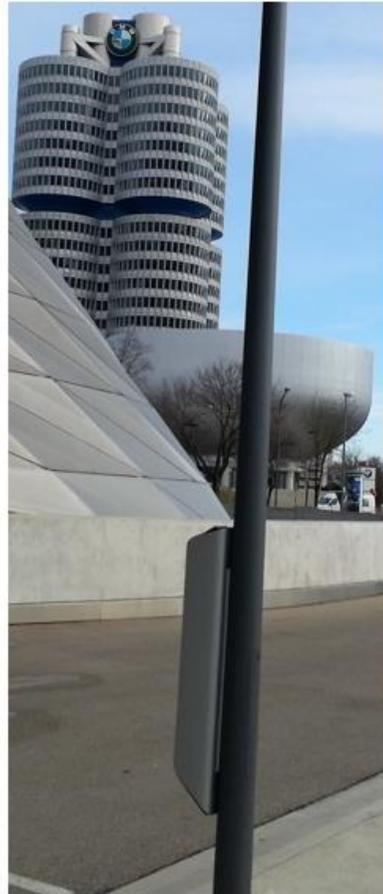




Prinzip der resonant induktiven Energieübertragung



Laterne mit Ladestation



Light & Charge LED-Leuchte bei BMW in München

Ladeleistungen: 3,68 kW (230 V / 16 A) und 22 kW (400 V / 32 A)



Leuchtenmast-Ummantelungstechnologie

(Selux-Patent DE 10 2012 023 252.7)

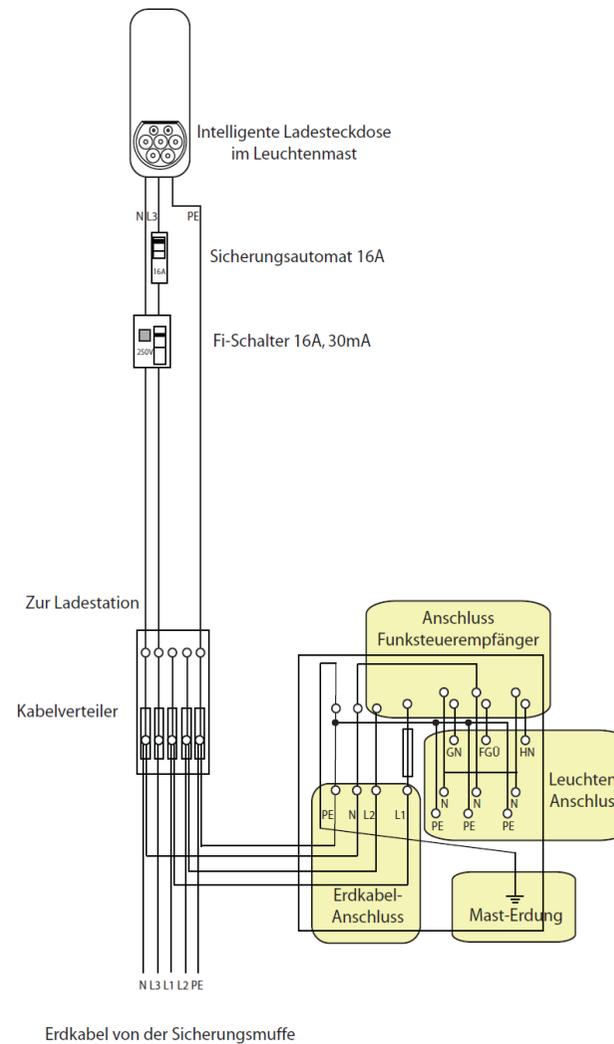
Die neue Selux-Leuchtenmast-Ummantelungstechnologie bietet die Möglichkeit, unterschiedliche Ladetechniken wie z.B. ein- und mehrphasigen Wechselstrom, Gleichstrom und auch Induktionsladeverfahren zur Verfügung zu stellen.

Ladesäulen zwischen Laternen werden damit vermieden.

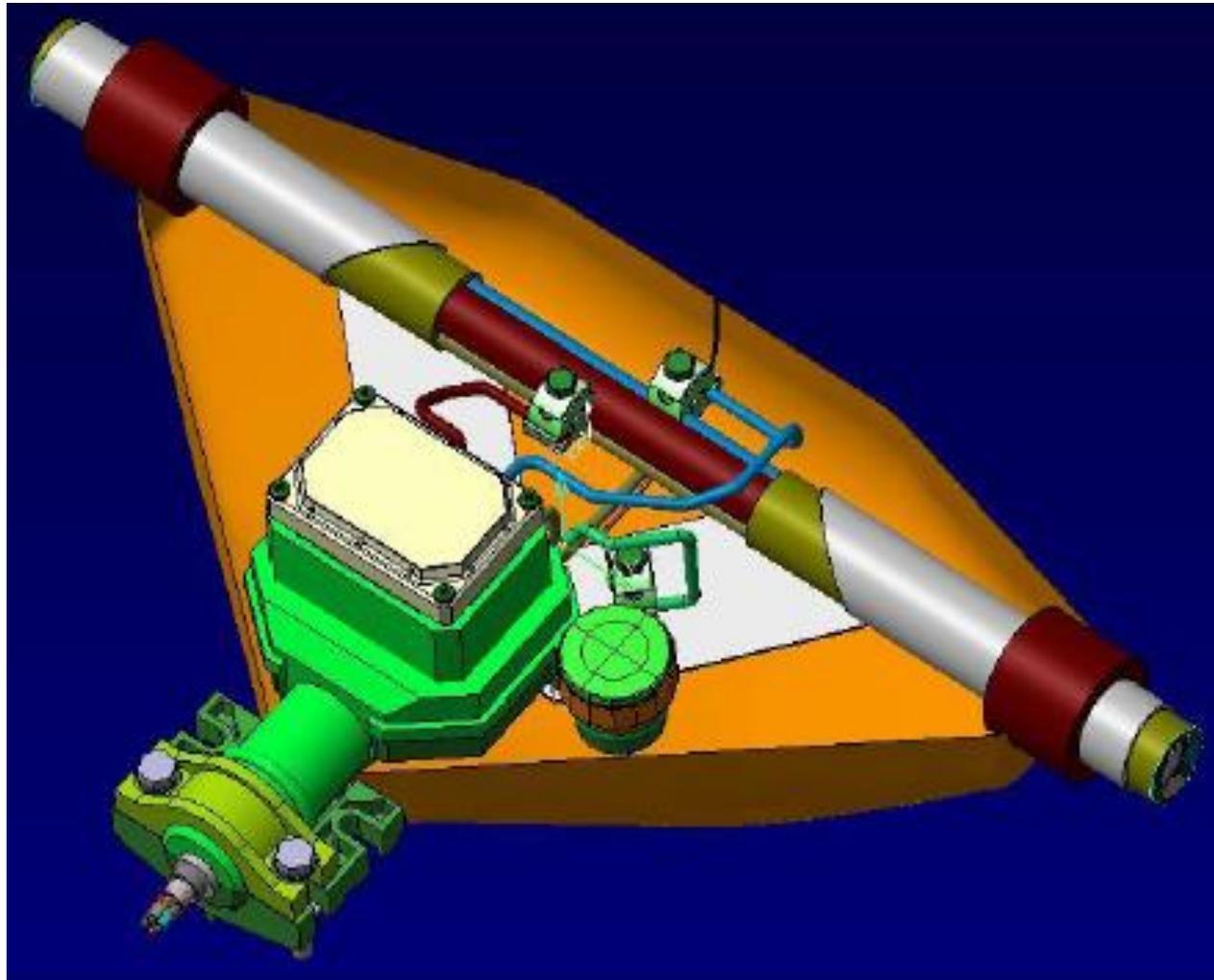
Auch ein Parkschein-Automat kann hier noch eingebaut werden.



„Leuchtenmast-Ummantelungstechnologie“ (Selux)

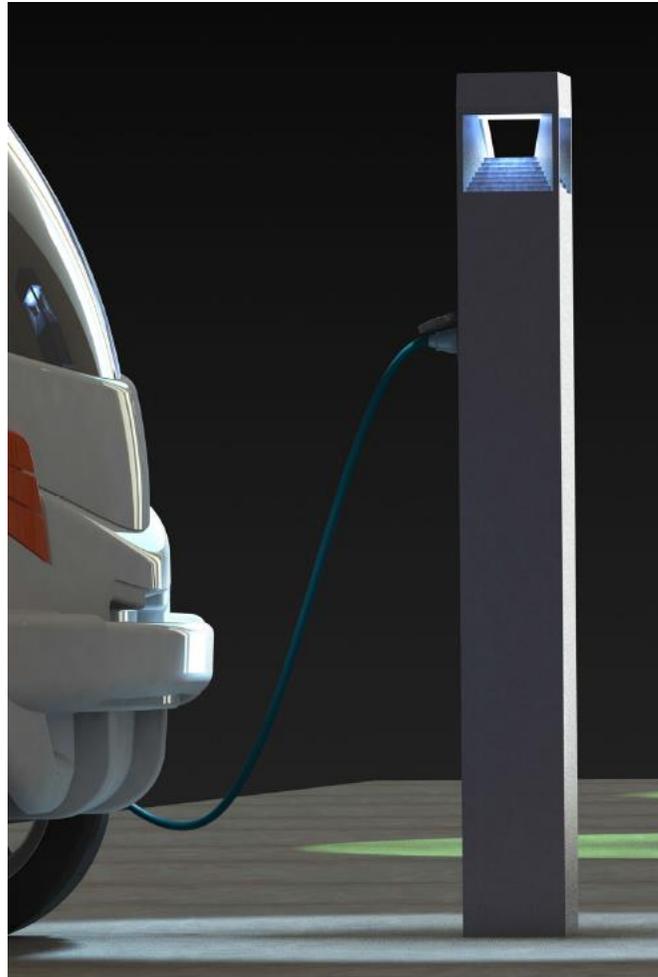


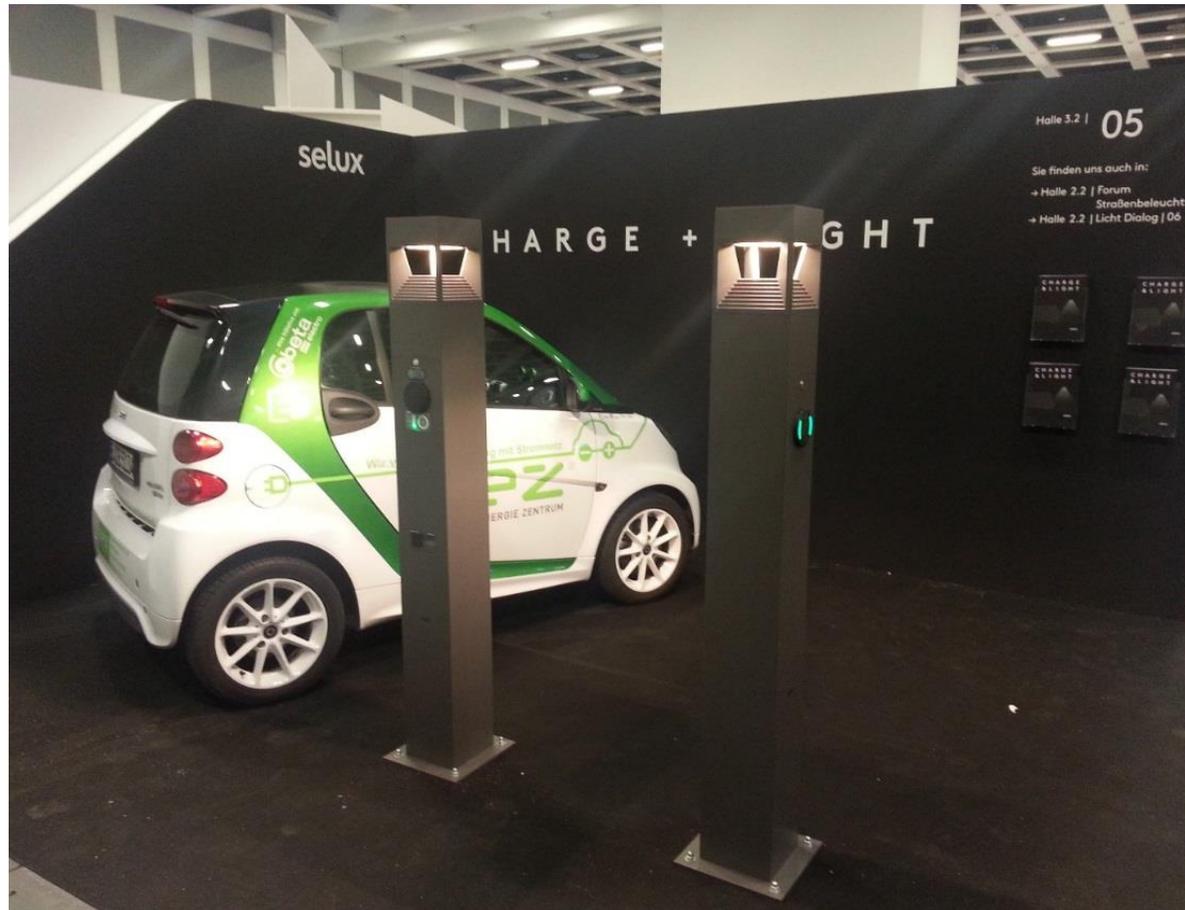
**Prinzip-Schaltschema für eine Außenleuchte mit elektrischem
Zusatzanschluss für eine Ladesteckdose für 230 V / 16 A**



**T-Muffe zum Anschluss von Straßenleuchten mit Ladestation
an das Drehstrom-Versorgungskabel**

Selux-Poller-Ladeleuchten





Poller-Ladeleuchten



Im Leuchtenteil sind 8 Hochleistungs-LEDs der Firma Cree installiert

Lichttechnische Daten

LED-Leistung = 8 x 2 W = 16 W

Leistung mit Konverter = 18,5 W

Lichtstrom = 8 x 260 Lumen = 2080 Lumen

Lebensdauer = 100.000 h

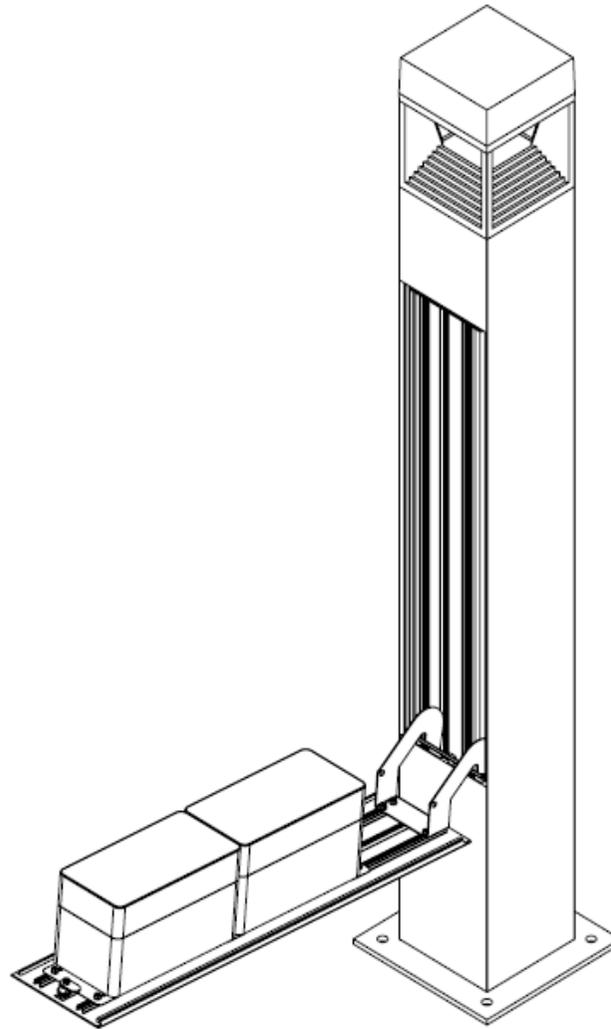
Farbwiedergabe CRI =80

Lichtfarbe CCT = warm-weiß 3000 K

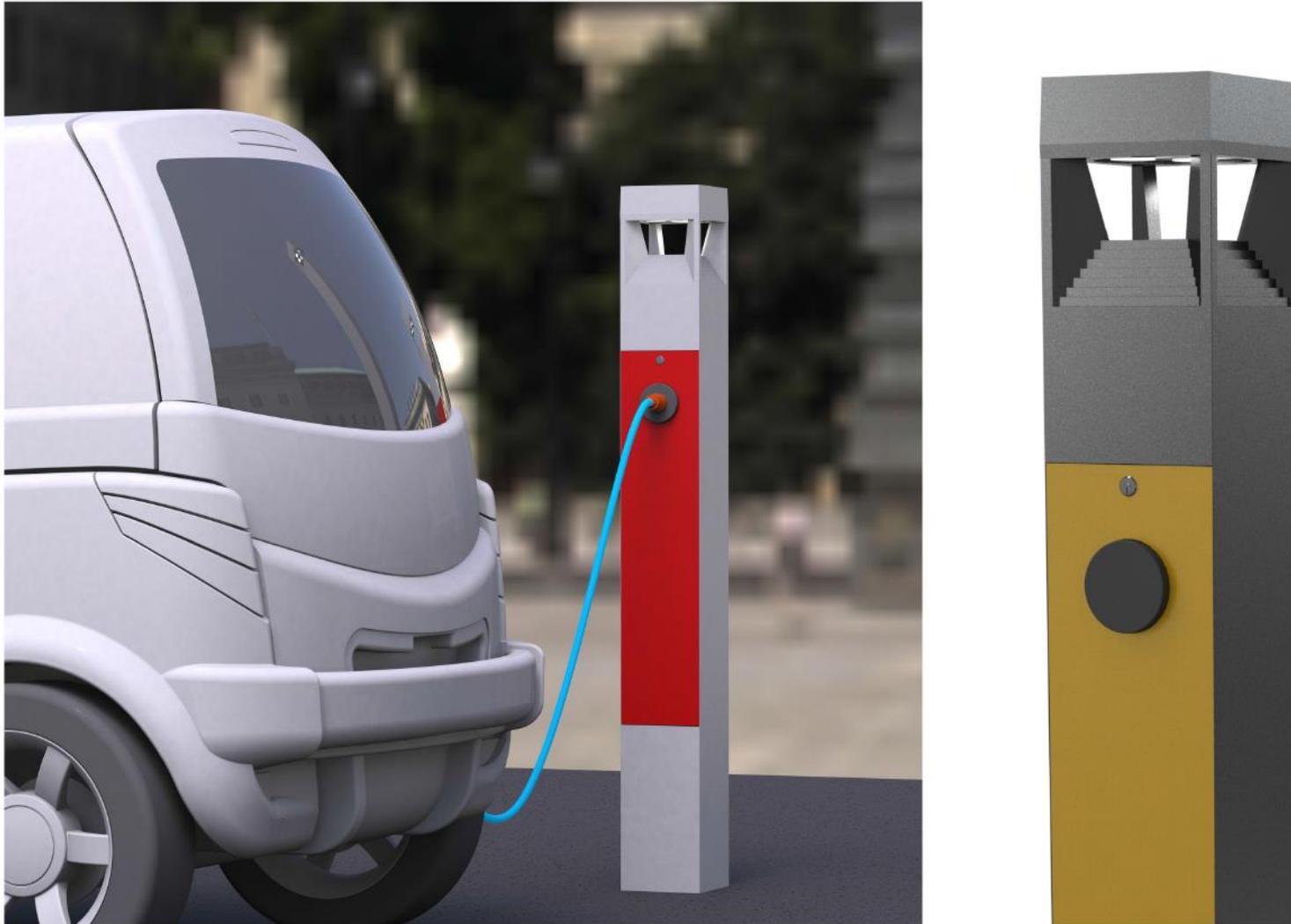
Lichtausbeute ohne Konverter = 130 lm / W

Lichtausbeute mit Konverter = 113 lm / W

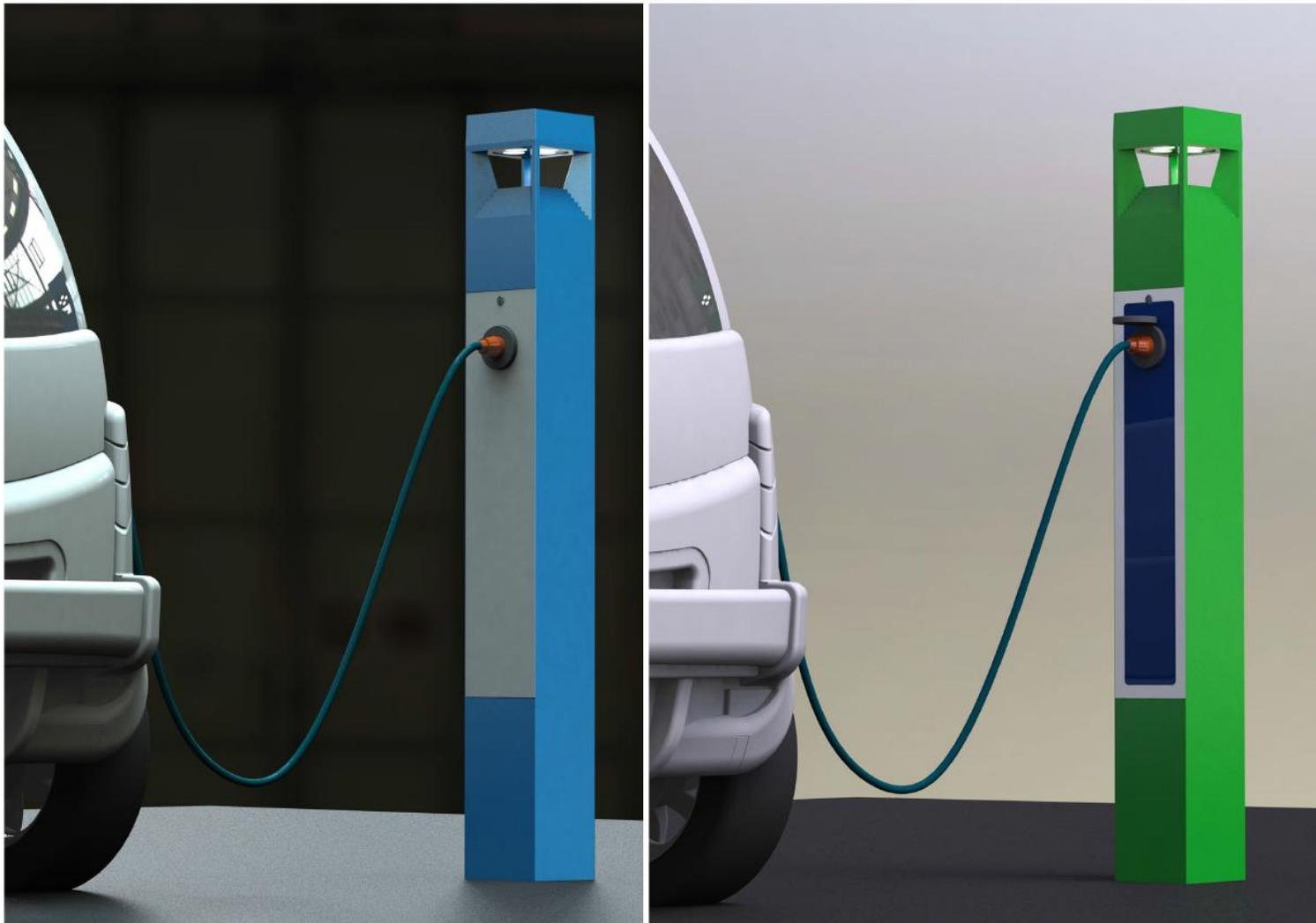
Der Leuchtenkopf wird mit Netzspannung 230 VAC versorgt



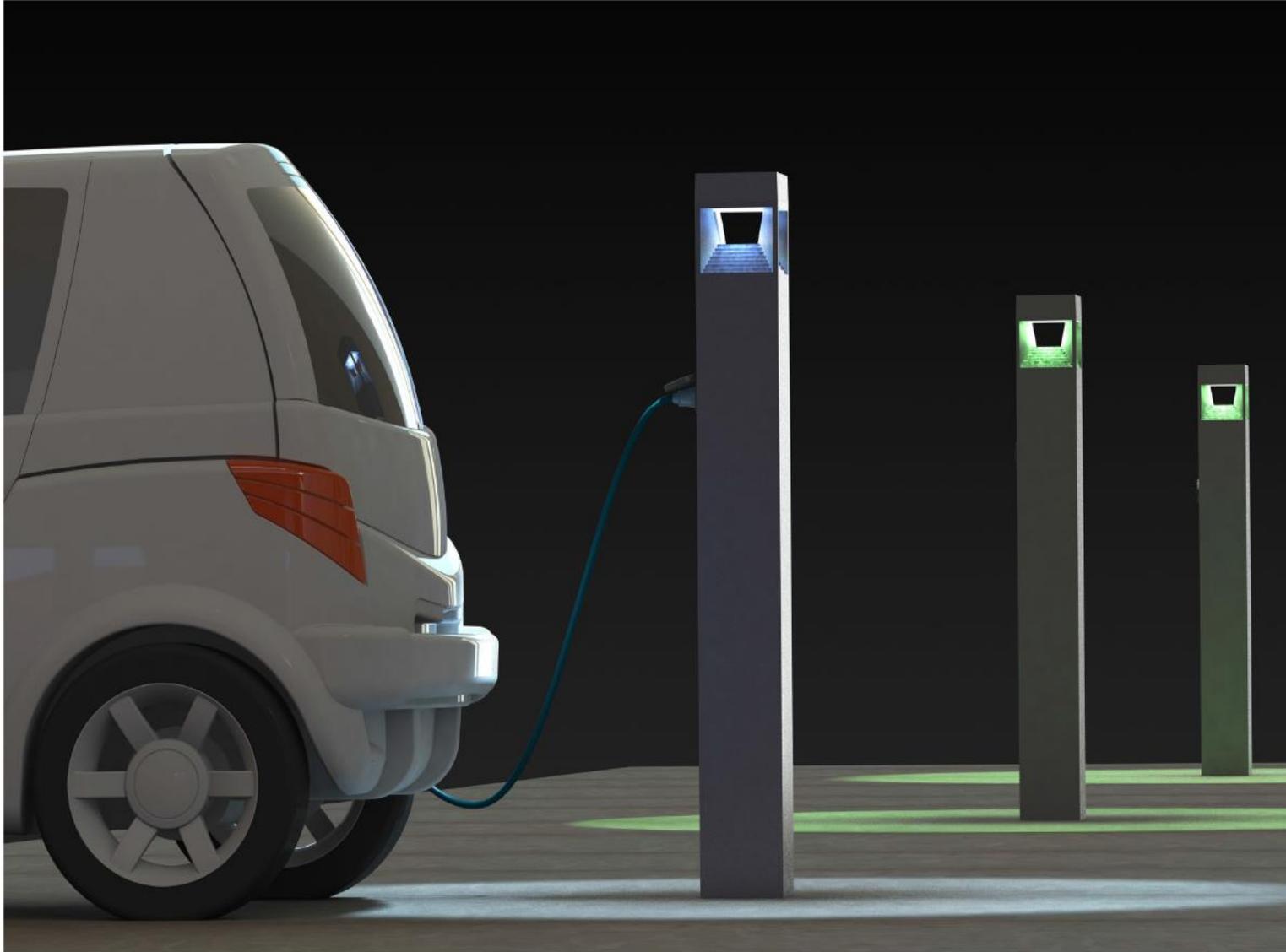
Lade-Leuchte mit servicefreundlicher ausklappbarer Lade-Elektrik (Selux / Vieweg)



Ladeleuchten mit unterschiedlicher Farbgestaltung



Ladeleuchten mit unterschiedlicher Farbgestaltung



Lade-Leuchten auf einem Parkplatz

Einfachere Ladetechnik für E-Autos, die nur auf der Gleichstrom- Ladetechnik beruht

Da die Fahrzeugbatterie eine Gleichstromquelle ist, muss diese prinzipiell auch mit Gleichstrom geladen werden, d. h., anstelle von AC-Ladeverfahren sollte zukünftig nur noch DC-Laden im Leistungsbereich von etwa 4 kW ...> 250 kW für sämtliche E-Fahrzeuge eingeführt werden.

Die Ladung erfolgt nur mit Gleichstrom mit einer einheitlichen Steckverbindung (2 Kontakte für Gleichstrom bis 350 A und bis 1000 V (= max. 350 kW) sowie 2 kleine Kontakte für die Kommunikation zwischen Ladestation und E-Auto.

Die Gleichrichtung erfolgt in der Ladestation und nicht im E-Auto.

Im E-Fahrzeug würde das einphasige bzw. dreiphasige AC / DC-Ladegerät entfallen, das spart im E-Auto Kosten, Volumen und Masse und es könnte **nur ein Steckersystem** für den gesamten DC-Leistungsbereich verwendet werden.

Damit ist dann langsames und schnelles Laden überall möglich.

Der bekannte Schuko-Stecker ist ein Beispiel für eine universelle Anschlussstechnik!

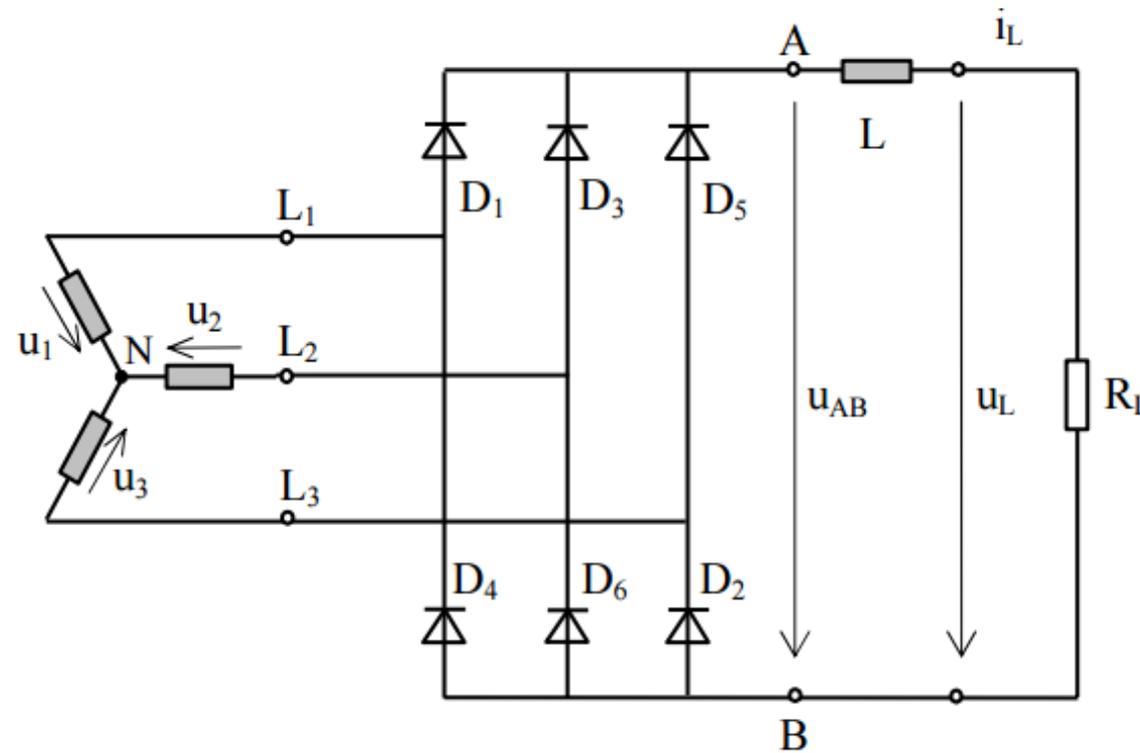
Das Ladekabel ist fest mit der Ladestation verbunden, wie der Tankschlauch an der normalen Tankstelle.



Prinzip der Drehstrom-Gleichrichtung

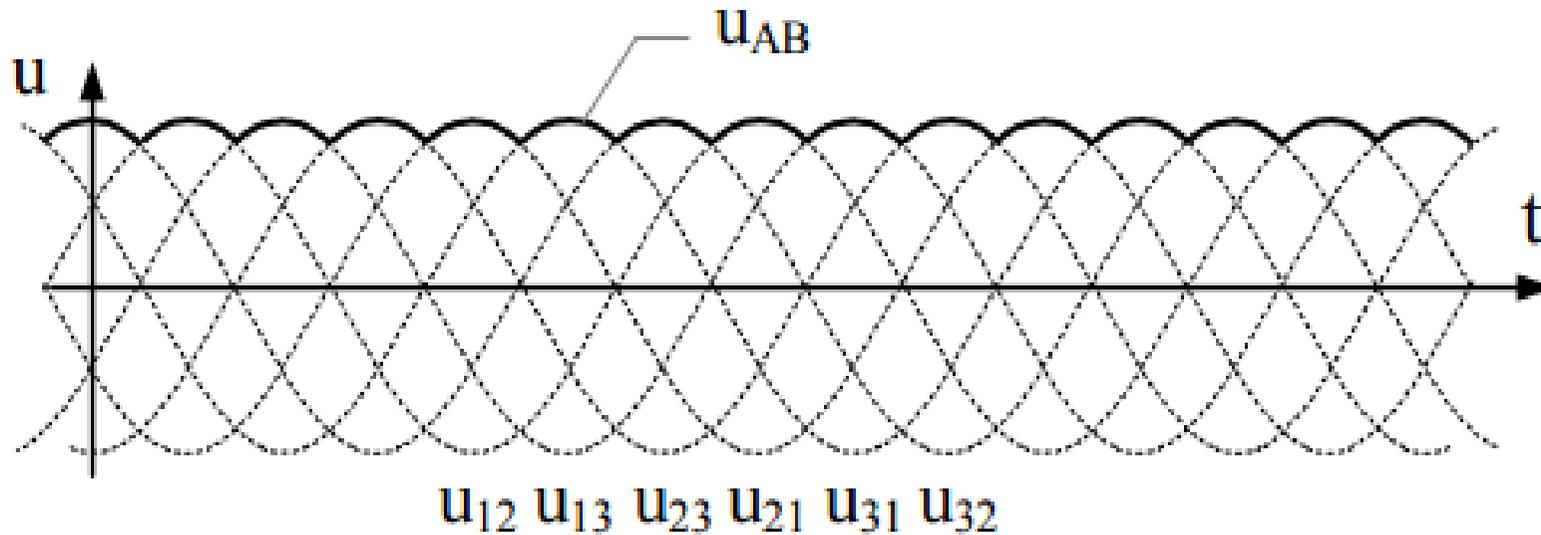
Eingang: 230 / 400 VAC

Ausgang: 538 VDC



$$U_s = 230 \text{ V} \sqrt{2} = 325,27 \text{ V}$$

$$U_{1-2} = 230 \text{ V} \sqrt{3} = 398,37 \text{ V}$$



Ausgangs-Gleichspannung mit geringer Welligkeit ($f_{\text{Brumm}} = 300 \text{ Hz}$)

$$\mathbf{U_{AB \max} = 230 \text{ V} \sqrt{3} \sqrt{2} = 398,37 \text{ V} \sqrt{2} = 563,38 \text{ V}}$$

$$\mathbf{U_{AB\text{-eff}} = 538,47 \text{ V}}$$

$$\mathbf{U_{AB\text{-DC}} = 537,99 \text{ V}}$$

Ladeleistungen mit Drehstromgleichrichtung

In Abhängigkeit der verfügbaren Dreiphasen-Stromstärken ergeben sich folgende Ladeleistungen:

$$\underline{P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I}$$

$$P = \sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 6 \text{ A} = 4 \text{ kW}$$

$$P = \sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 10 \text{ A} = 7 \text{ kW}$$

$$P = \sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 16 \text{ A} = 11 \text{ kW}$$

$$P = \sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 32 \text{ A} = 22 \text{ kW}$$

$$P = \sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 64 \text{ A} = 44 \text{ kW}$$

Realisierung der Gleichrichtung:

Mit 6 Dioden = ungesteuerter Betrieb

**Mit 6 IGBTs (Transistoren / Thyristoren) = gesteuerter Betrieb,
hiermit kann auch Energie zurückgespeist werden**

**Die Vielzahl der heute vorhandenen Stecker für AC und DC-Laden
kann entfallen. (z.B. Schuko, Typ 2, CCS, Chademo usw.)**

Beispiel: Kein vernünftiger Elektroingenieur würde die Ladegeräte für Smartphones, Laptops, Akkurasierer usw. nur mit einem Niedervolt-Wechselspannungsausgang entwerfen mit der Folge, dass die Gleichrichtung im mobilen Gerät erfolgen müsste, obwohl dort der Platz äußerst knapp ist.

Nur die bisherigen E-Autos leisten sich den überflüssigen Luxus, die Netzgleichrichtung an Bord mitzuführen, was natürlich unwirtschaftlich ist.

Der heutige Zustand, wo der E-Autobesitzer verschiedene Ladekabel (teilweise verschmutzt) im Kofferraum mit sich führen muss, ist absolut inakzeptabel.

Niemand würde auch auf die Idee kommen, einen Tankschlauch für flüssige Kraftstoffe im Kofferraum mitzuführen. Es muss zukünftig genügen, nur ein herausziehbares DC-Ladekabel mit einem Steckertyp zu verwenden.

Beispiel: Kabelnetze in Berlin

In Berlin wird zur Energieverteilung in der Mittelspannung überwiegend 10 kV und bei Neuinstallation 20 kV verwendet, da hier die Systemkosten je übertragenem kW am kostengünstigsten sind.

Es gibt verschiedene Netz-Spannungsebenen:

380 kV - Netz

110 kV - Netz

(30 kV - Netz)

20 kV - Netz

(10 kV - Netz)

(6 kV - Netz)

400 V / 230 V – Netz

Mit der maximal zulässigen Kabel-Stromdichte von 2 A / mm² folgt für den maximalen Effektivstrom $I = 150 \text{ mm}^2 \times 2 \text{ A/mm}^2 = 300 \text{ A}$, die Absicherung erfolgt über 250 A Sicherungen.

Verfügbare Netz-Leistungen

Für die Drehstrom-Wirkleistung folgt mit $\cos \varphi = 1$

$$**P_w = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 250 \text{ A} = 173 \text{ kW}**$$

und der maximale Strom pro Phase beträgt

$$**I = P_w / (\sqrt{3} \cdot U) = 173 \text{ kW} / \sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} = 250 \text{ A}**$$

Die Leistung pro Phase ergibt dann

$$**P_{Ph} = 230 \text{ V} \cdot 250 \text{ A} = 57,5 \text{ kW}**$$

Engpässe in der Stromversorgung sind auch bei einem schnellen Markthochlauf nicht zu befürchten

Der jährliche Verbrauch an elektrischer Energie beträgt in Deutschland rund **600 GkWh**.

Ein E-Auto benötigt etwa **15 kWh für 100 km**.

Autos fahren in Deutschland im Durchschnitt **11.000 km im Jahr**, d.h. sie benötigen hierfür

$110 \times 15 \text{ kWh} = 1650 \text{ kWh}$.

Selbst wenn im Jahr 2020 eine Million Autos rein elektrisch fahren würden, liefe das nur auf einen Mehrverbrauch von rd.

1,65 GkWh hinaus.

Das sind nur 0,3% Mehrbedarf!

Würde der komplette Bestand von aktuell

44 Millionen Pkw in der Bundesrepublik mit Strom fahren,

entspräche das einem Energiebedarf von etwa

44 Mio. x 1,65 GkWh = 72,6 GkWh pro Jahr,

das sind nur 12% Mehrbedarf!

„2016 hat Deutschland mehr als 50 GkWh Strom exportiert“, das sind etwa zehn Prozent des eigenen Bedarfs. Verkauft wurde der überschüssige Strom für gerade mal 3,7 Cent pro Kilowattstunde.

Würde man damit den 40 kWh-Akku eines Renault Zoe laden, müsste man nur 1,48 Euro zahlen.

Mit dieser exportierten Strommenge könnten 30 Millionen Elektroautos jeweils 11000 km pro Jahr fahren. Auch das Laden ist de facto kein Problem. Die meisten Autos stehen 23 Stunden am Tag. Da bleibt genug Zeit, zum Nachladen zu Hause, während der Arbeit oder vor dem Supermarkt. Am besten fürs Klima ist es aber, wenn Elektroautos mit reinem Ökostrom fahren.

Eine Fotovoltaikanlage mit 1 kW_{peak} benötigt etwa 10 m².

Diese 10 m² - Solarfläche (Preis ca. 1800 €) erzeugt in Deutschland etwa 1000 kWh pro Jahr.

Bei einem Verbrauch eines E-Autos von 15 kWh für 100 km reicht das für 6666 Kilometer = 1000 kWh / (15 kWh/100 km) im Jahr.

Die Lebensdauer der Solarzellen beträgt etwa 30 Jahre. In dieser Zeit können mit dem E-PKW

6666 km x 30 = 199.980 km gefahren werden.

Zum Vergleich: Ein Mittelklasse Verbrenner-PKW verbraucht für diese Fahrleistung

1999,8 x 8 Ltr. Benzin = 15.998 Liter Benzin

nach heutigen Preisen kostet das

15.998 Liter Benzin x 1,30 € = 20.792 €

Das Reichweitenargument, dass E-Auto-Skeptiker ins Feld führen, zieht nicht mehr. „Es gibt jetzt Elektroautos, die nicht viel mehr als 30 000 Euro kosten und bis zu 400 km weit kommen.

In der Produktion stehen deutsche Autobauer bislang nicht gut da. International liegen Hersteller wie Tesla aus den USA oder BYD aus China vorne. Das Geschäft mit Batteriezellen, die rund ein Drittel zur Wertschöpfung von E-Autos beitragen, machen die Asiaten.

Dabei wurde das Prinzip des Lithium-Ionen-Akkus 1970 an der TU München entwickelt.

Dieser Akkutyp mit hohem Wirkungsgrad und hoher Speicherdichte wird auch in den nächsten Jahren dominieren.

Die Asiaten beherrschen den Batteriezellen-Markt. Die wichtigsten Hersteller sind:

LG Chem, Samsung, Panasonic sowie SK und CATL aus China.

Im E-Fahrzeug muss ein DC-DC-Wandler (Hoch- bzw. Tiefsetzsteller) für unterschiedliche Leistungen und Spannungen für langsames bis schnelles Laden installiert sein, der mit dem BMS-System der Fahrzeugbatterie zusammenarbeitet.

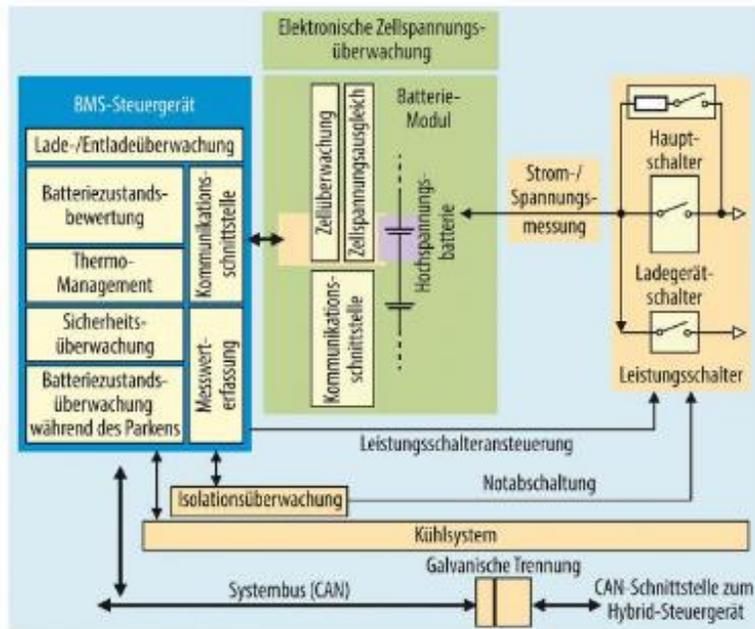
Lithium-Ionen-Batterien haben Zellspannungen von ca. 3,7 Volt. Zur Versorgung von Elektrofahrzeugen werden Versorgungsspannungen bis zu mehreren hundert Volt benötigt.

Um alle Batteriezellen im zulässigen Spannungs- und Temperaturbereich zu betreiben und gleichmäßig zu belasten, muss das Batteriemanagement-System (**BMS**) alle einzelnen Zellspannungen und Zelltemperaturen überwachen. Genaue Information über die aktuelle Restkapazität (State-of-Charge, **SOC**) und die maximal verfügbare Batteriekapazität (State-of-Health, **SOH**) ist essenziell.

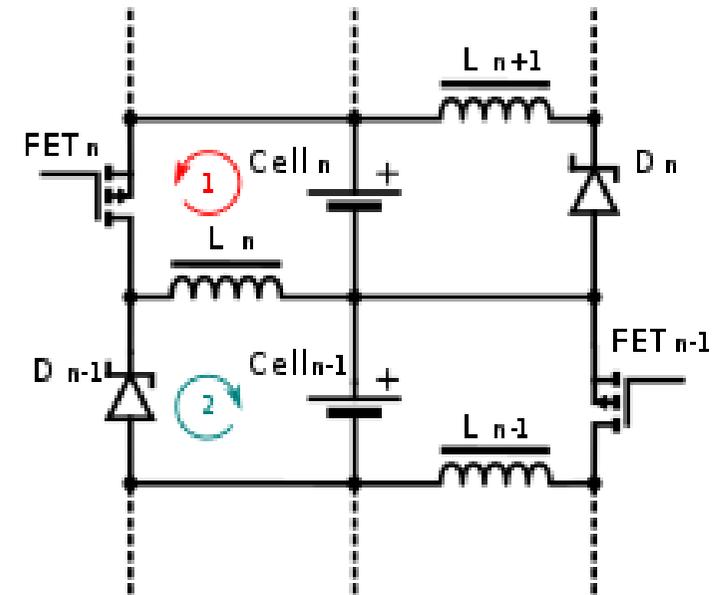
Aufgaben des BMS:

Steuern der Last - verhindern einer Tiefentladung

- Steuern des Laders - verhindern einer Überladung
- Steuerung der Batterietemperatur
- passives Balancieren der Zellen
- Ladungsmengenzähler SOC, SOH Bestimmung
- Errechnen und Ausgeben von Parametern:
- SOH, SOC, I, U, T über CAN, RS232,
- Kommunikationsschnittstellen
- per PC parametrierbar
- ESD geschützt
- Kaskadierbar bis 2000V Stackspannung
- galvanische Trennung Zellen/Schnittstellen



BMS-System für Batteriezellen



Balancerschaltung

Durch die Balancerschaltung wird ein Ladungstransfer von benachbarten Zellen untereinander realisiert und die Energie von Zellen mit höherer Ladung auf Zellen mit niedrigerer Ladung übertragen.

Weiterhin sind die Netzvorschriften bzgl. Leistungsfaktor, Verzerrungsblindleistung, Netzstromoberschwingungen usw. einzuhalten.

Wenn zukünftig das Rückspeisen von Energie aus den Autobatterien zur Netzstabilisierung gefordert wird, ist ein noch höherer Aufwand erforderlich. (V2G-Fähigkeit)

Die Schnelllader können aus dem Mittelspannungsnetz mit zusätzlichen Pufferbatterien versorgt werden.

Wichtig ist auch das gesteuerte Laden, damit in Zeiten von erneuerbarem Stromüberschuss preisgünstige kWh-Tarife zum Laden der Autobatterien genutzt werden können.

Tesla hat sich z. T. an das Bahnstromnetz (15 kV, 16 2/3 Hz) angeschlossen.

Die kWh-Messung kann preiswert in einer AC-Phase x 3 erfolgen wegen der symmetrischen Belastung des Drehstrom-Netzes oder auch einfach auf der DC-Seite.

$$W = U \cdot I \cdot t$$

Wenn ein großer Verbraucher - z. B. eine Stadion-Flutlichtanlage - eingeschaltet wird, kommt im ersten Augenblick diese zusätzliche Leistung aus der Rotationsenergie (Schwungmasse) der Turbosätze (Generatoren + Dampfturbinen) in den Kraftwerken.

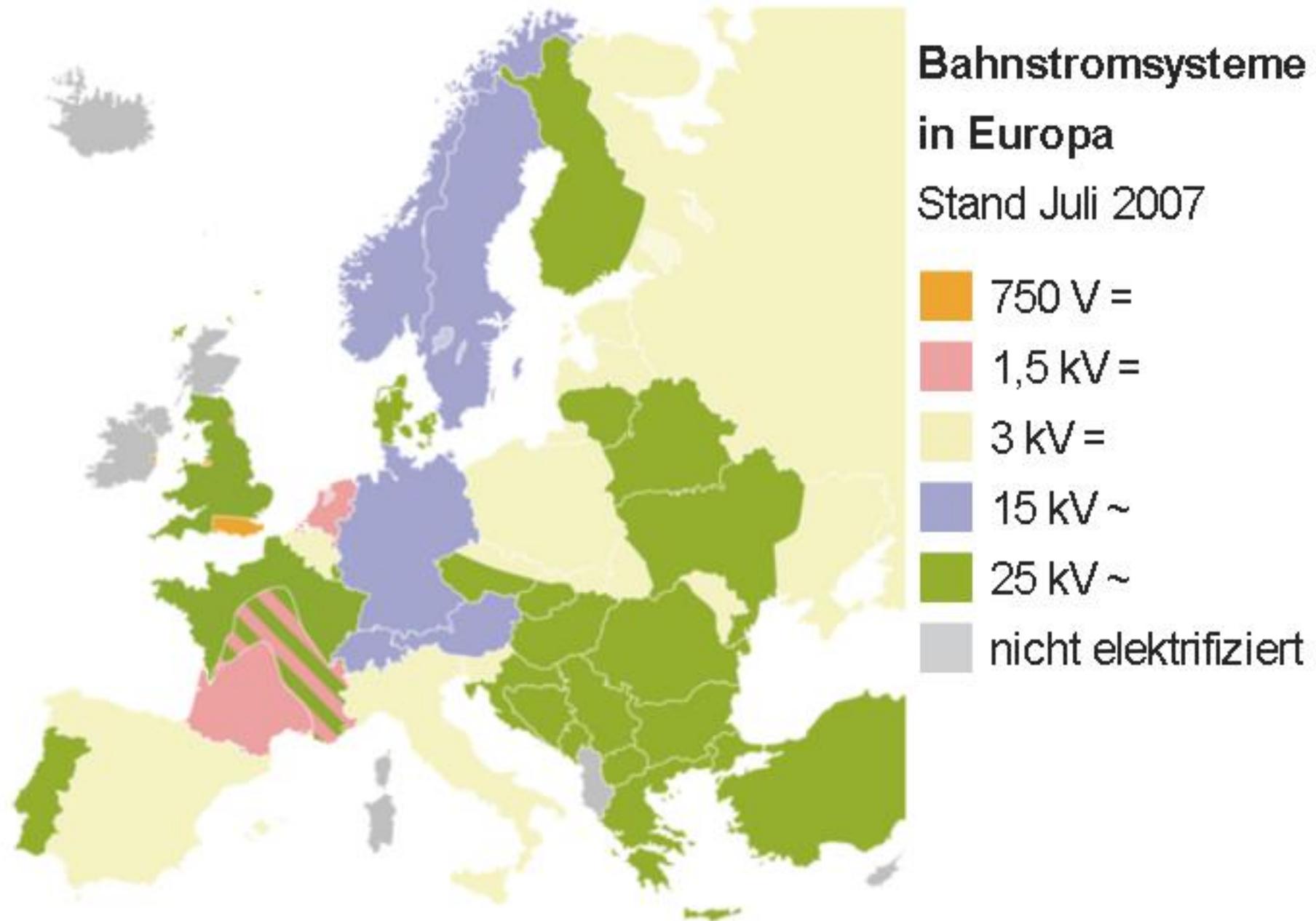
Diese werden dann etwas abgebremst wodurch die Drehzahl und die Netzfrequenz absinkt. Das merken dann die Regler für die Dampzufuhr an den Turbinen und erhöhen diese. Das lässt sich gut vergleichen mit dem Tempomat im Auto.

Wenn zukünftig genügend E-Autos vorhanden sind, kann das Rückspeisen von Energie aus den Autobatterien auch zur Netzstabilisierung dienen. Dazu ist jedoch ein höherer Aufwand erforderlich. (V2G = Vehicle to Grid-Fähigkeit)

Unterschiedliche Bahnstromnetze bis heute !

Beim Übergang von der Dampflokomotive zur Elektrolok sind leider auch unterschiedliche Bahnstromnetze mit Gleich- und Wechselstrom, unterschiedlichen Frequenzen und Spannungen entstanden.

Das bahneigene 110-kV-Hochspannungsnetz mit einer Länge von rund 7700 Kilometern (DB Energie GmbH) verbindet Kraft-, Umformer- und Umrichtwerke mit Bahnunterwerken, in denen der 110-kV-Bahnstrom auf 15 kV heruntertransformiert wird.



Der erste 26-Tonnen-Lkw, der rein elektrisch fährt.



200 Kilometer weit bei voller Beladung soll der Elektro-Truck kommen.
Bis 2030 könnten 250.000 E-Trucks auf den Straßen fahren.



Elektrisches Solarschiff



TORQUEEDO liefert Elektro-Bootsmotoren (ab 6500 €)

torqueedo
ELECTRIC OUTBOARD



Cruise 10.0 NEU

Stärkster Elektroantrieb in Niedrigvolt-
Ausführung: vergleichbare Vortriebsleistung wie
ein 20 PS Verbrennungsmotor. Integrierter
Bordcomputer mit GPS-basierter
Reichweitenberechnung, 70 mm² Kabelsatz,

E-Flugzeuge

Nicht nur die Autobranche denkt über alternative Antriebe nach. Auch die Flugzeugindustrie beschäftigt sich intensiv damit, wie sich der Einsatz von Kerosin reduzieren bzw. ersetzen lässt. Airbus errichtet z.B. in der französischen Stadt Pau ein Werk für die Serienproduktion des elektrischen Flugzeugs „E-Fan 2.0“ und investiert 20 Mio. Euro in die Weiterentwicklung des Elektro-Flugzeugs.



Bis zu einer Stunde kann der E-Fan in der Luft bleiben. Er erreicht eine Spitzengeschwindigkeit von 220 Kilometern pro Stunde.

Tom Enders von Airbus prognostiziert:

„Bis 2050 wollen wir den CO₂-Ausstoß um 75 Prozent, den von Stickoxiden um 90 Prozent und den Fluglärm um 65 Prozent senken.“

Einen wichtigen Beitrag hierzu wird die Entwicklung von Regional-Flugzeugen mit Hybridantrieb bilden, d.h. die Flugzeugindustrie wird evtl. in 10 - 50 Jahren einen 100-Sitzer mit Elektroantrieb bauen, wobei Start und Landung rein elektrisch erfolgen und im Reiseflug die Elektromotoren über eine optimierte Gasturbine mit Drehstromgenerator versorgt werden.

Elektro-Hybridflugzeuge benötigen weniger Energie, sie sind leiser und sie können elektrisch zu Zeiten auf Flughäfen starten und landen, zu denen sonst längst Start- und Landeverbot herrscht.

„Leuchte mit Elektroladestation für Elektroautos“

Deutsches Patent Nr. 10 2012 023 252.7, Anmelder: Selux AG, Anmeldetag: 29.11.2012

Dr.-Ing. Artur Seibt: "Persönliche Mitteilungen zum Thema Disruption in der Autoindustrie, S.10 – S. 35"

T. Gehrlein, B. Schultes: „Ladesäulen-Infrastruktur“

ISBN 9781521300077, 2017

J. Eickelmann: „Wachstumsmotor Elektromobilität“

Phoenix Contact GmbH, 2016

Klaus Hofer: "Elektromobilität". ISBN 978-3-8007-3596-9, 2017

**Vielen Dank
für Ihre
Aufmerksamkeit**