Ladetechniken für Elektrofahrzeuge

Dipl.-Ing. Bernd Wunder

Techniker Schule

in Bayreuth, 1. Februar 2018

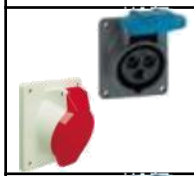
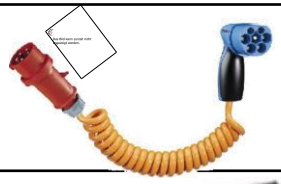
© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

Inhalt

- Lade-Modi
- AC-Laden via on-board Ladegerät
- AC-Laden via Inverter
- DC-Schnellladen
- Kontaktloses Laden für den Alltag
- Kontaktloses Laden über die Fahrbahn
- Einbindung der Ladetechnik in Gebäude

© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

Lademodi und Infrastruktur

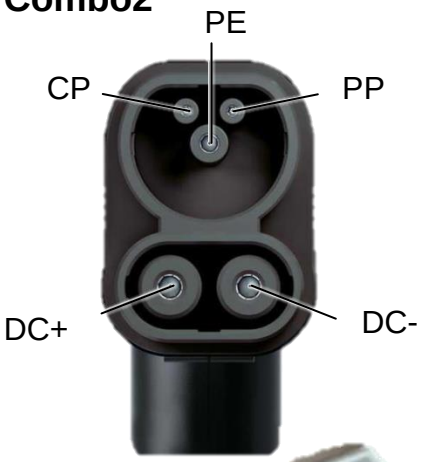
CPL Auto	Mode	Netz Stecker, Phasen, Strom, Leistung		CPL Netz	Infrastruktur
kein Pilotsignal	1	**Hausnetz** bis 16 A	1-phasig (3,7 kW) 3-phasig (11 kW)	kein Pilotsignal vom Netzanschluß	in Hausinstallation FI-Schutz oder kabelintegriert ⇨
		IEC 60309 bis 16 A	1-phasig (3,7 kW) 3-phasig (11 kW)		 
Pilotsignal	2	**IEC 60309** bis 32 A	1-phasig (7,4 kW) 3-phasig (22 kW)		In-Cable-Control-Box liefert Pilotsignal (Leistungscodierung etc.)
	3	**IEC 60309** bis 63 A	1-phasig (14,5 kW) 3-phasig (43 kW)	Pilotsign. v. Ladestation	Hochleistungs- AC- oder DC- Ladestation
	4	**DC** bis 400 A			
		AC bis 250 A			

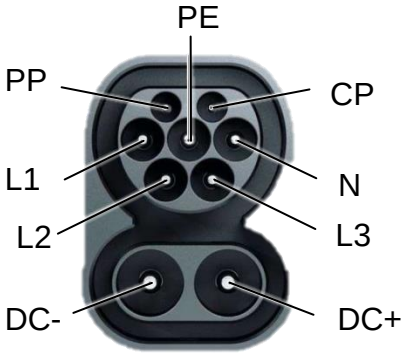
Bildquellen: Mennekes, Chademo, Phoenix Contact

© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

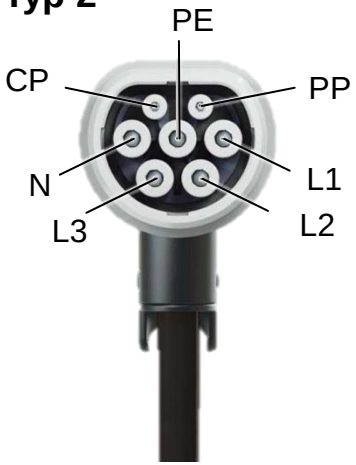
Combined Charging System (CCS)

Combo2



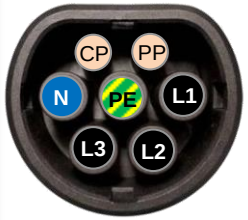
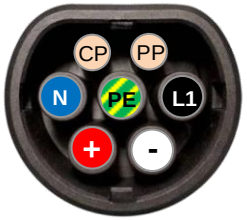
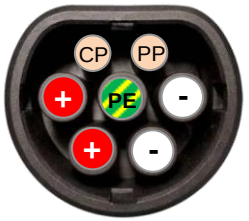
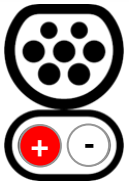


Typ 2



Pin	Funktion
CP	Control Pilot
PE	Schutzerde
PP	Proximity Pilot (Plug Present)
DC+, DC-	DC Leistungskontakte
L1, L2, L3, N	AC Leistungskontakte

Bildquelle: Phoenix Contact

Belegungsoptionen	
	**AC** (ein- bis dreiphasig) max. 400 (480) V AC 3x 63 A (oder 1x 80 A)
	**DC/AC** max. 480 V DC/AC 3x 63 A oder 1x 70 A AC oder 1x 80 A DC
	**DC** max. 480 V DC/AC 1x 140 A DC
	**DC-Schnellladen** max. 850 V DC ≥ 125 A (400 A)

© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

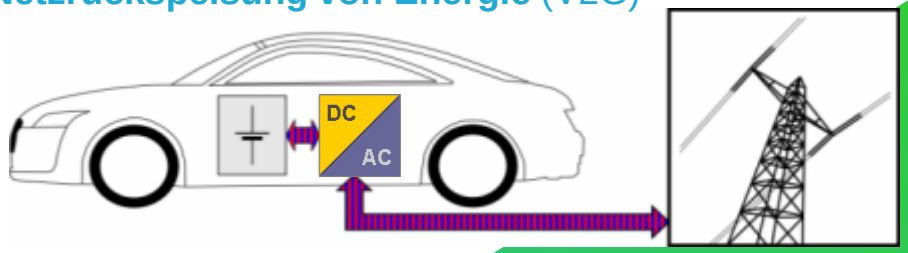
Kabelgebundenes Laden

	Ladeparameter	Ladezeit für 100 Fahrkilometer	Ladegerät		Fahrzeuge
	AC 230 V, 16 A (einphasig) 3,7 kW	5 h	im Fahrzeug	onboard charger	BMW i3, i8 AUDI A3 e-tron Ampera, AX
	AC 400 V, 32 A (dreiphasig) bis 22 kW	50 min.		onboard charger	Tesla S BMW i3 (11 kW)
	AC 400 V, 63 A (dreiphasig) bis 43 kW	25 min.		Inverter	Renault ZOE, C-Zero
	DC bis 145(350) kW	4…10 min.	stationär	in Ladesäule	Tesla S (145 kW) BMW (50 kW) VW (40 kW)

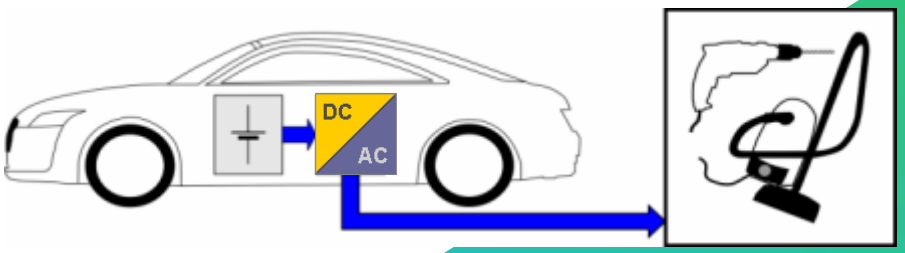
© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

Betriebsarten eines on-board Ladegeräts

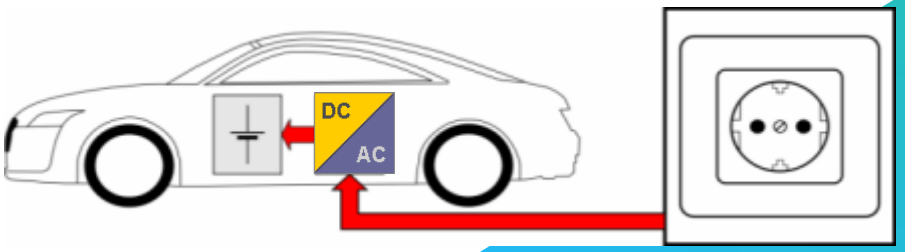
Netzrückspeisung von Energie (V2G)



Bereitstellung einer mobilen AC-Steckdose



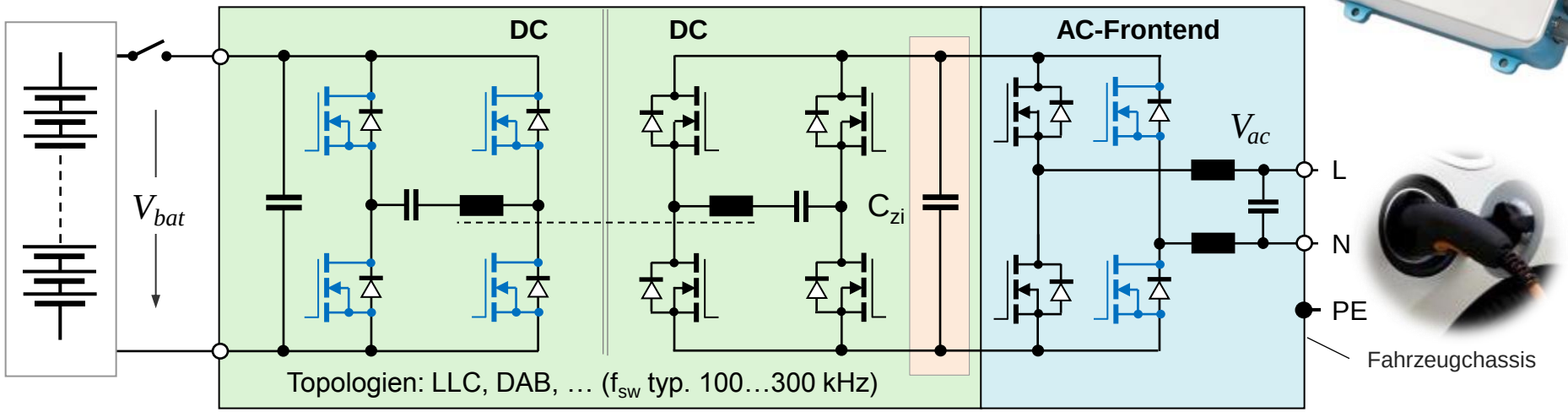
Batterie Laden



© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

Multifunktionales on-board Ladegerät

Realisierungsbeispiel für ein **galvanisch isolierendes**, **rückspeise-** und **inselnetzfähiges** Ladegerät mit einphasigem AC-Netzanschluß

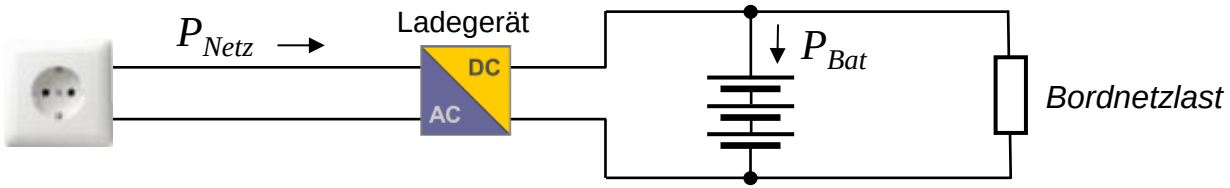


Zk-Kapazität (C_{zi})	**Vorteil**	**Nachteil**
groß	kontinuierlicher Ladestrom	großes Bauvolumen, aktives Netz-Frontend (PFC) erforderlich
klein	Ladegerät sehr kompakt und kostengünstig	gepulster Batterieladestrom, Transfer hoher Spitzenleistungen über den DC/DC-Wandler

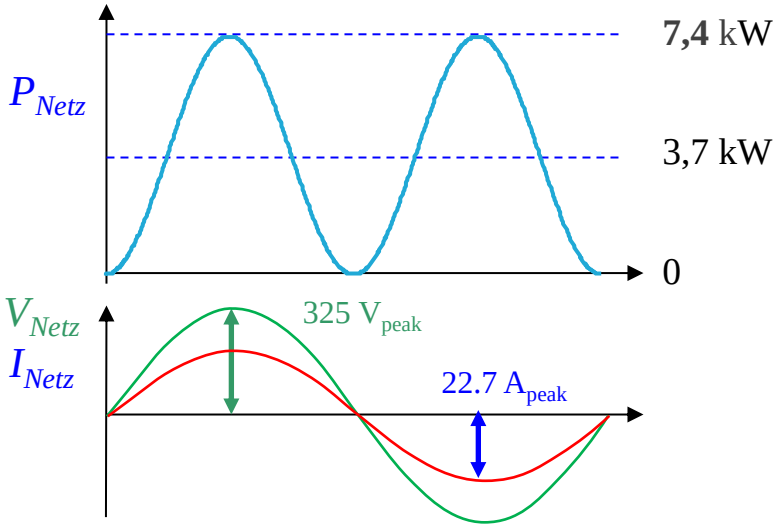
© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

Ladeleistungscharakteristik bei einphasiger AC-Speisung

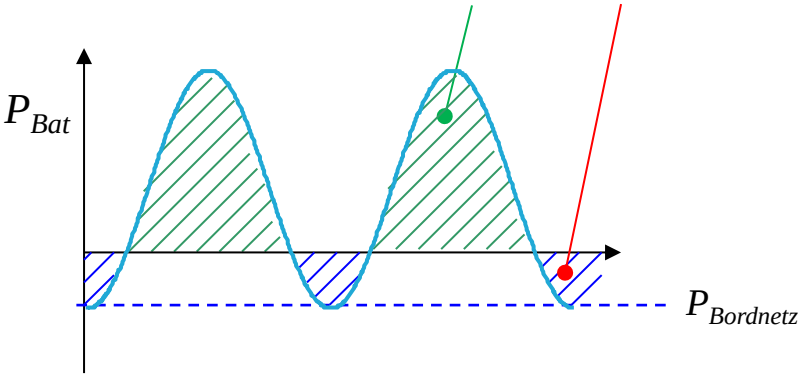
und vernachlässigbarer Zwischenkreiskapazität im Ladegerät



Bei einphasiger Speisung pulsiert die Ladeleistung mit der doppelten Netzfrequenz



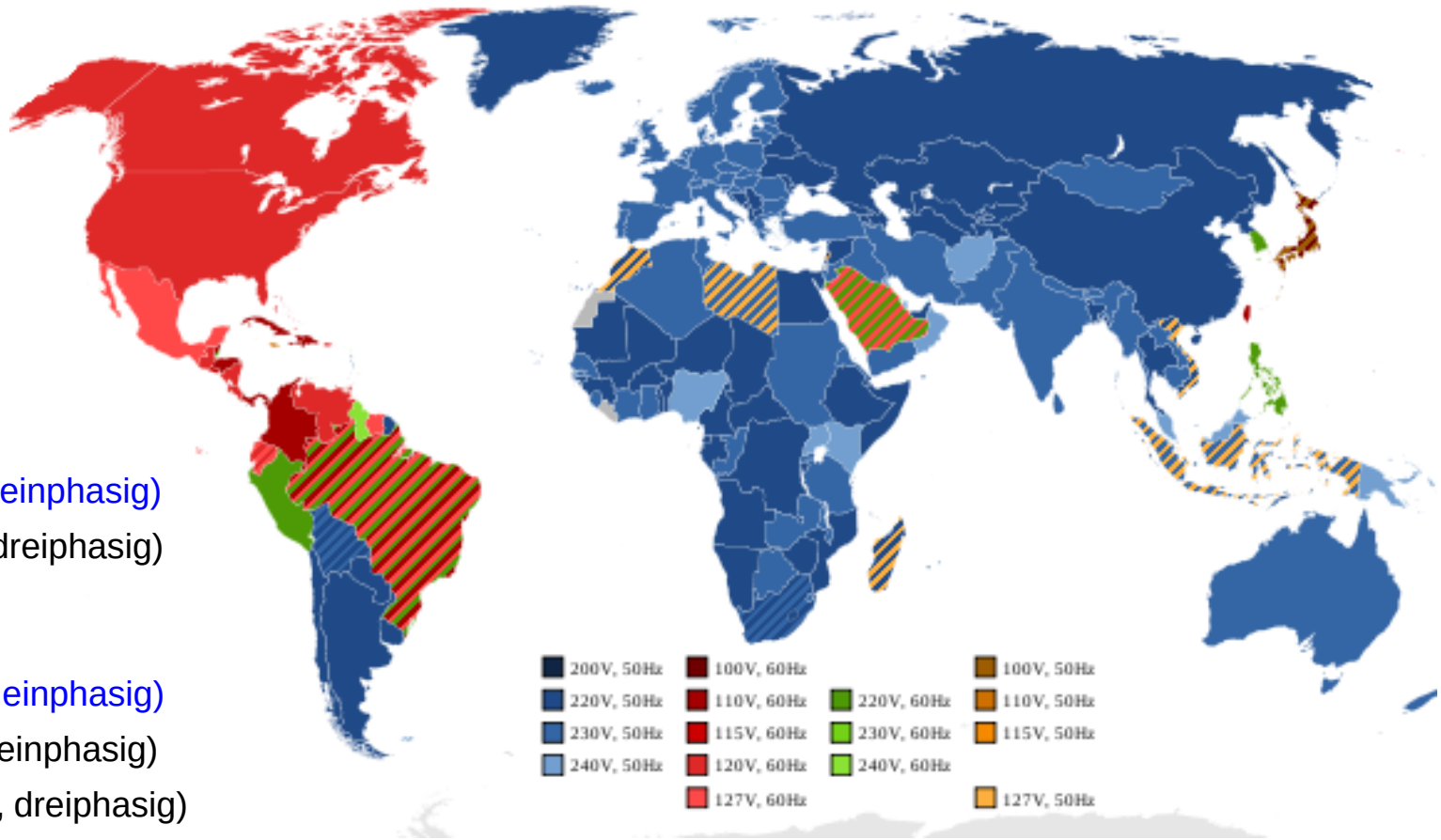
Bei Vorhandensein eines Bordnetz-Grundverbrauchs kommt es zu periodischen Lade-/Entladezyklen



Da die Auswirkungen dieser Zyklen auf die Batterielebensdauer bis heute unklar sind, wird i.a. eine Mindestladeleistung gefordert.

© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

Globale Netzstandards

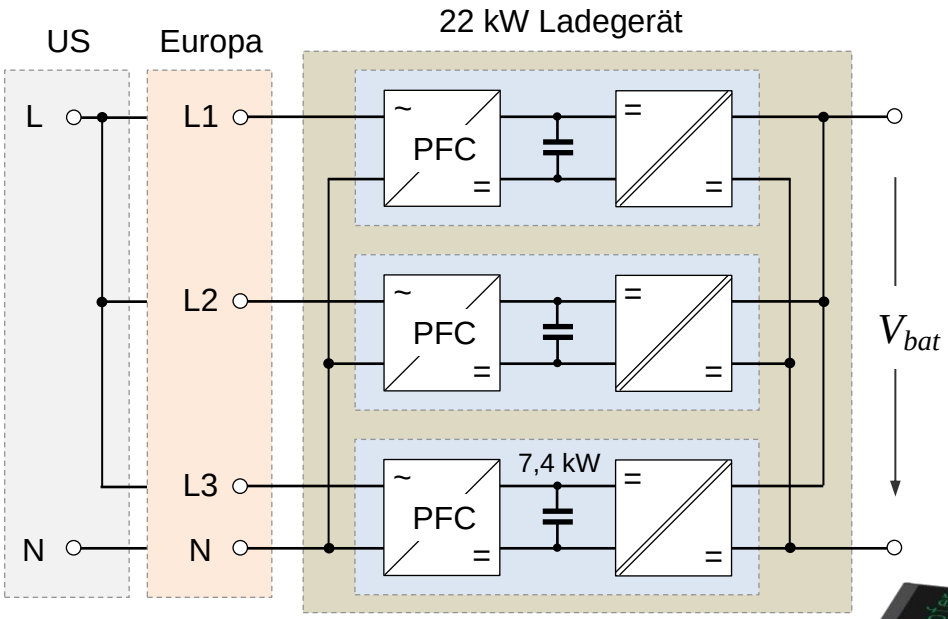


- **Europa**
  - 230 V / 16 A (3,7 kW, einphasig)
  - 400 V / 32 A (22 kW, dreiphasig)
- **USA / Japan**
  - 120 V / 12 A (1,4 kW, einphasig)
  - 240 V / 72 A (17 kW, einphasig)
  - 480 V (Industrienetze, dreiphasig)

Bildquelle: www.wikipedia.org, Author: SomnusDe

© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

AC-Ladegeräte (mehrphasig)



Vor dem Hintergrund weltweiter Einsetzbarkeit ist es sinnvoll, AC-Ladegeräte höherer Leistung aus Phasenmodulen aufzubauen.

- Maximale Modularität (economies of scale)
- Entwicklungskostenminimierung
- Weltweite Einsetzbarkeit

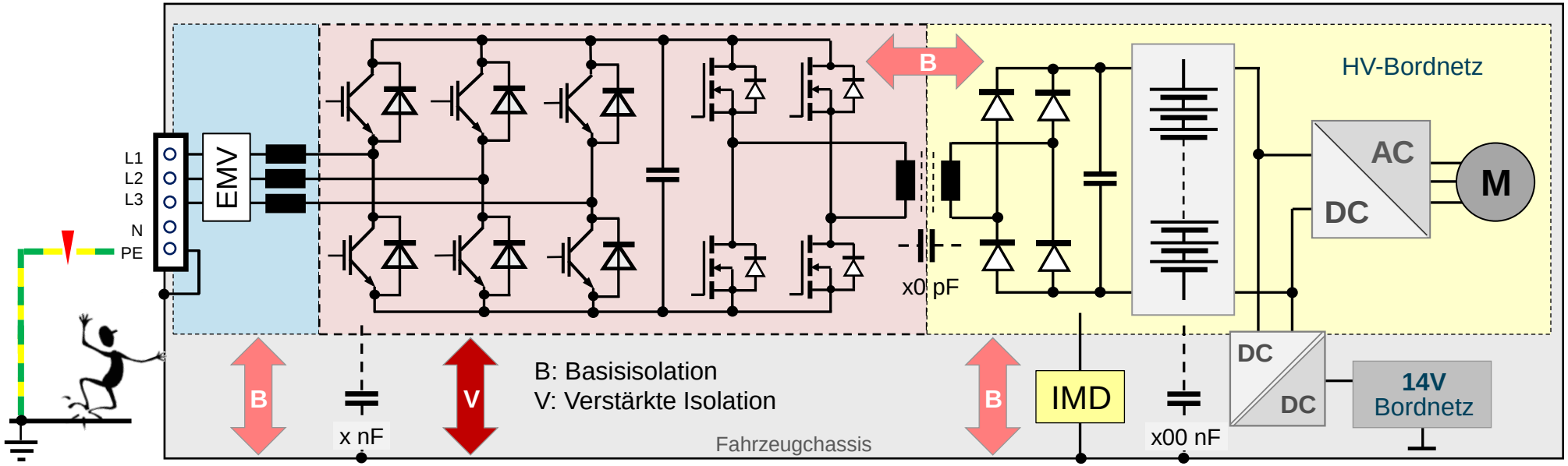
22 kW

11 kW

3,7 kW

© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

Maßnahmen zur Erfüllung zentraler normativer Anforderungen



Anforderung (⇨ Maßnahme)

- **Limitierung des Ableitstroms**, der im Fehlerfall (Schutzleiterunterbrechung) als Berührstrom zu einer Personengefährdung führen könnte.
  - ⇨ Hier Abkopplung der hohen „Erdkapazität“ des gesamten HV-Bordnetzes durch galvanische Isolation
- **Vermeidung von DC-Fehlerströmen auf den AC-Netzleitungen**, um Fehlerstromschutzschalter (RCD-A) in der AC-Netzinfrastruktur nicht erblinden zu lassen.
  - ⇨ Verstärkte Isolation des Schaltungsteils zwischen Netzgleichrichter und galvanischer Isolation (Trafo)

© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

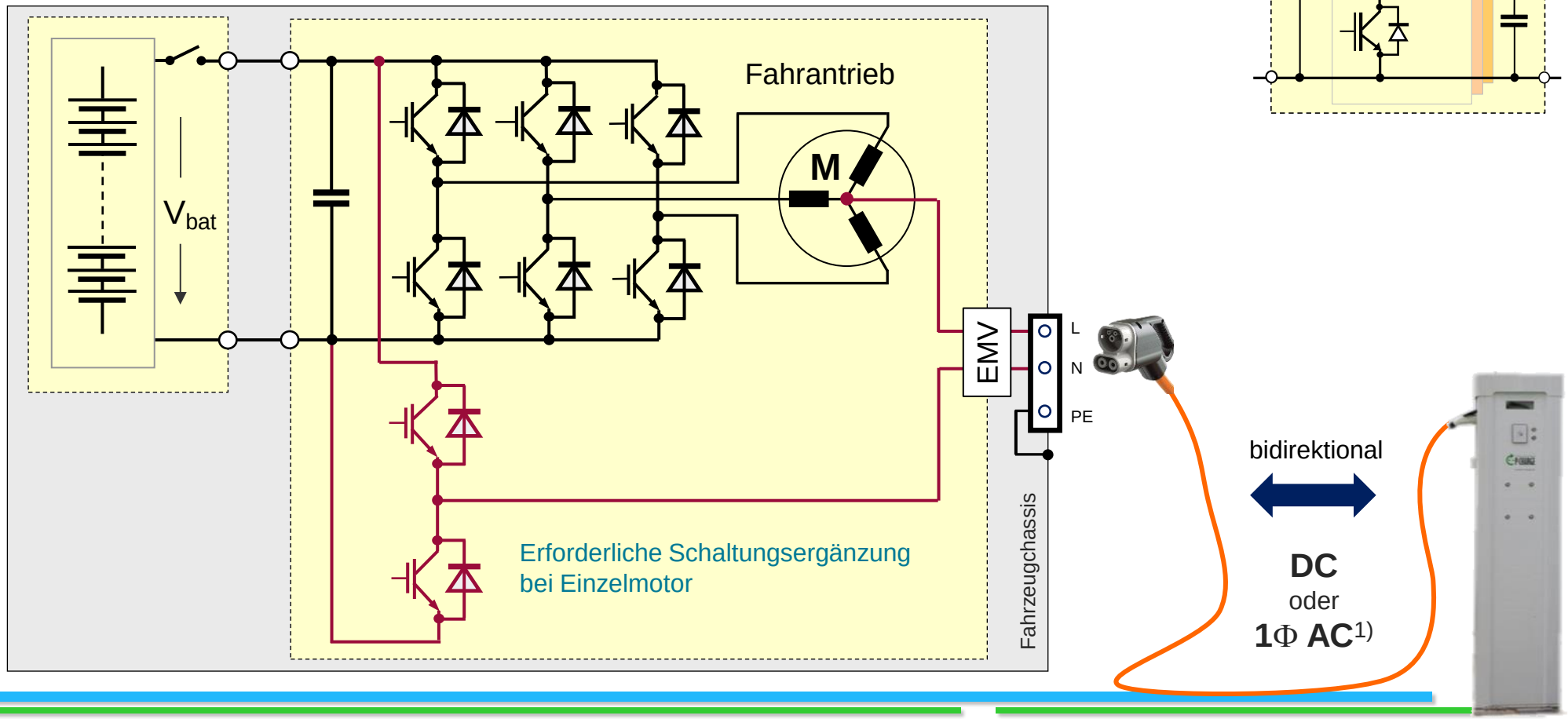
Kabelgebundenes Laden

	Ladeparameter	Ladezeit für 100 Fahrkilometer	Ladegerät	
	AC 230 V, 16 A (einphasig) 3,7 kW	5 h	im Fahrzeug	onboard charger
	AC 400 V, 32 A (dreiphasig) bis 22 kW	50 min.	im Fahrzeug	onboard charger
	AC 400 V, 63 A (dreiphasig) bis 43 kW	25 min.	im Fahrzeug	Inverter
	DC bis 145(350) kW	4…10 min.	stationär	in **Ladesäule**

Explizite onboard AC-Ladegeräte werden mittelfristig aus Gründen von Kosten, Gewicht und Bauraum wieder verschwinden – statt dessen „**Inverterladen**“

© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

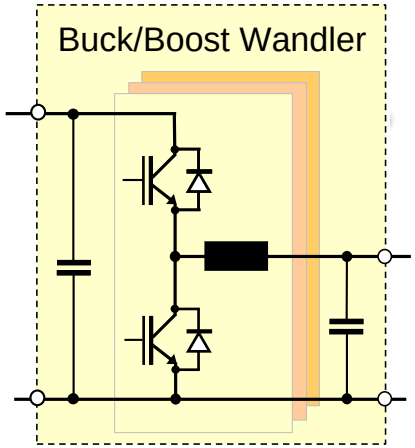
Inverterladen: Bereitstellung der AC-Ladefunktion unter Nutzung von Leistungselektronik des Antriebsstrangs

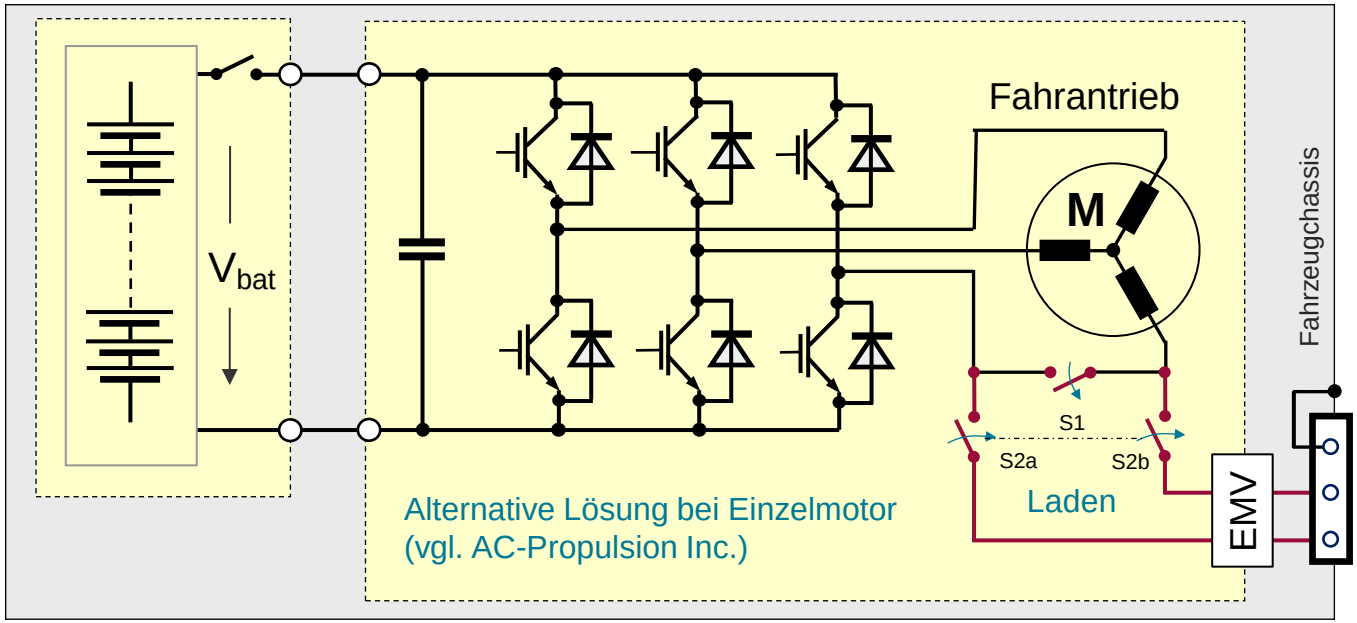


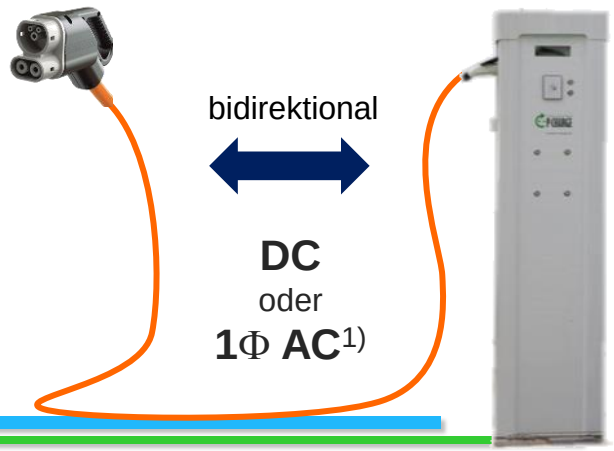
1) ohne HV-DC/DC-Wandler Spitzenwert der Netzspannung kleiner V_{bat} erforderlich.

© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

Inverterladen: Bereitstellung der AC-Ladefunktion unter Nutzung von Leistungselektronik des Antriebsstrangs

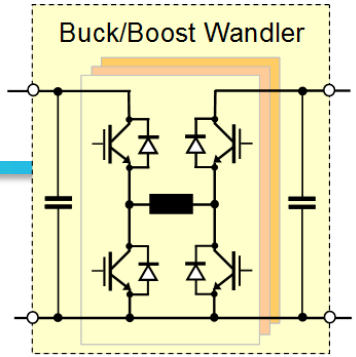






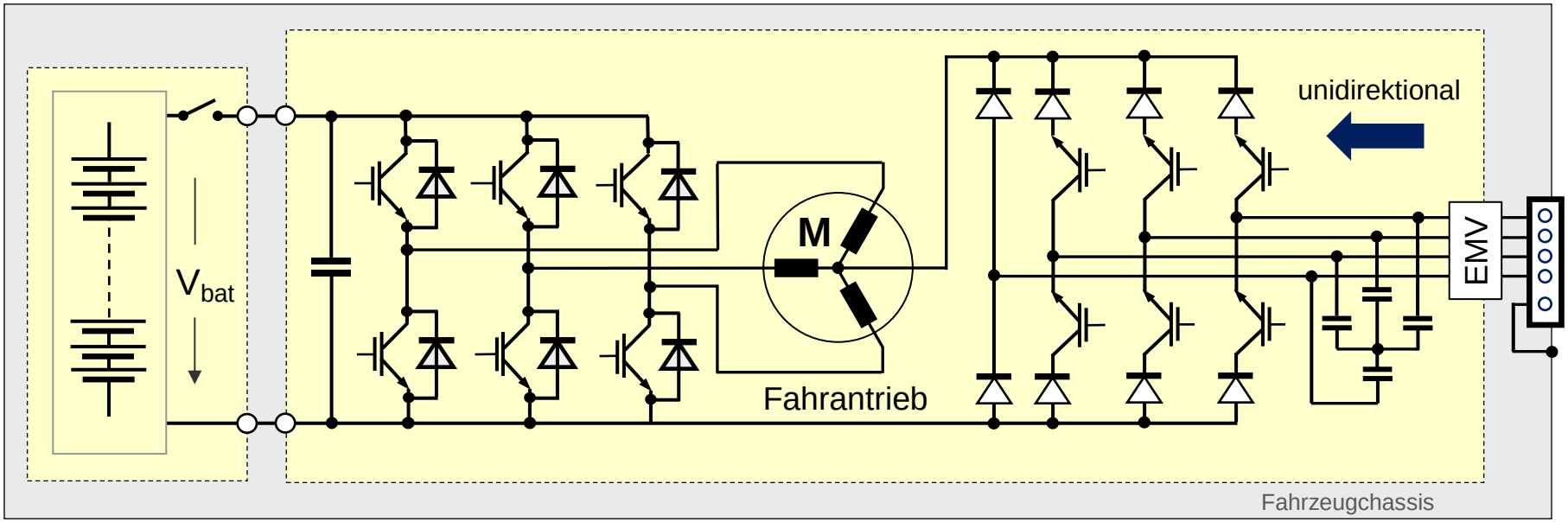
- Kein zusätzlicher Motoranschluß erforderlich
- Trennschalter (S1) für vollen Motorstrom erforderlich
- Ohne zusätzlichen HV DC/DC-Wandler nur geeignet, sofern Spitzenwert der Netzspannung kleiner V_{bat}

© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder



Bereitstellung der AC-Ladefunktion

Dreiphasiges AC-Laden über den Antrieb (Renault „Chameleon“ Charger)



Boost Converter

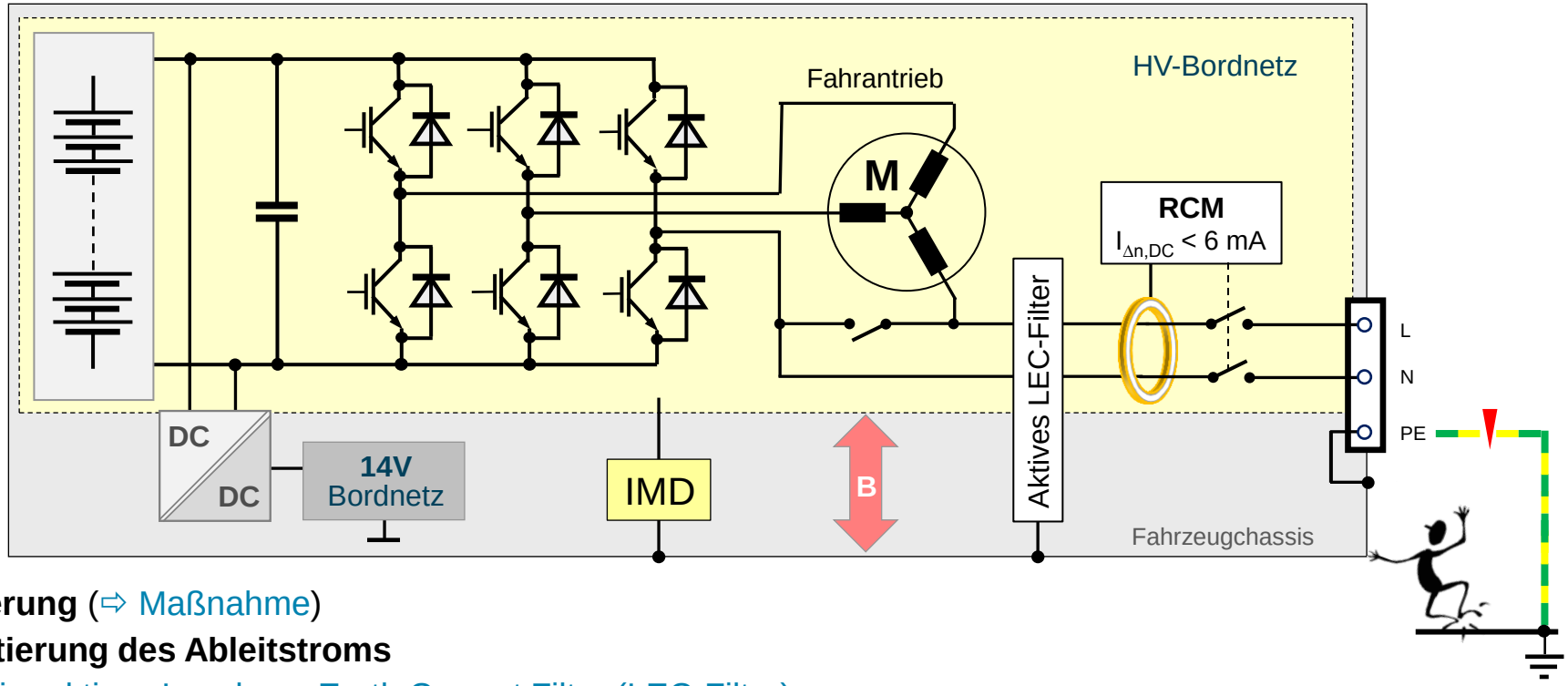
3-phasiger „Buck-Type“ PFC Gleichrichter

⇨ Für Netzspannungen größer und kleiner Batteriespannung geeignet!

© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

Maßnahmen zur Erfüllung zentraler normativer Anforderungen

im Falle eines **nicht** galvanisch isolierenden Ladegeräts[1)]



Anforderung (⇨ Maßnahme)

- **Limitierung des Ableitstroms**
  - ⇨ Hier aktives Leackage Earth Current Filter (LEC-Filter)
- **Vermeidung von DC-Fehlerströmen auf den AC-Netzleitungen**
  - ⇨ DC-fähige Differenzstromüberwachung (Residual Current Monitoring – RCM) und Netztrennschütz im Fahrzeug

1) beispielhaft

© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

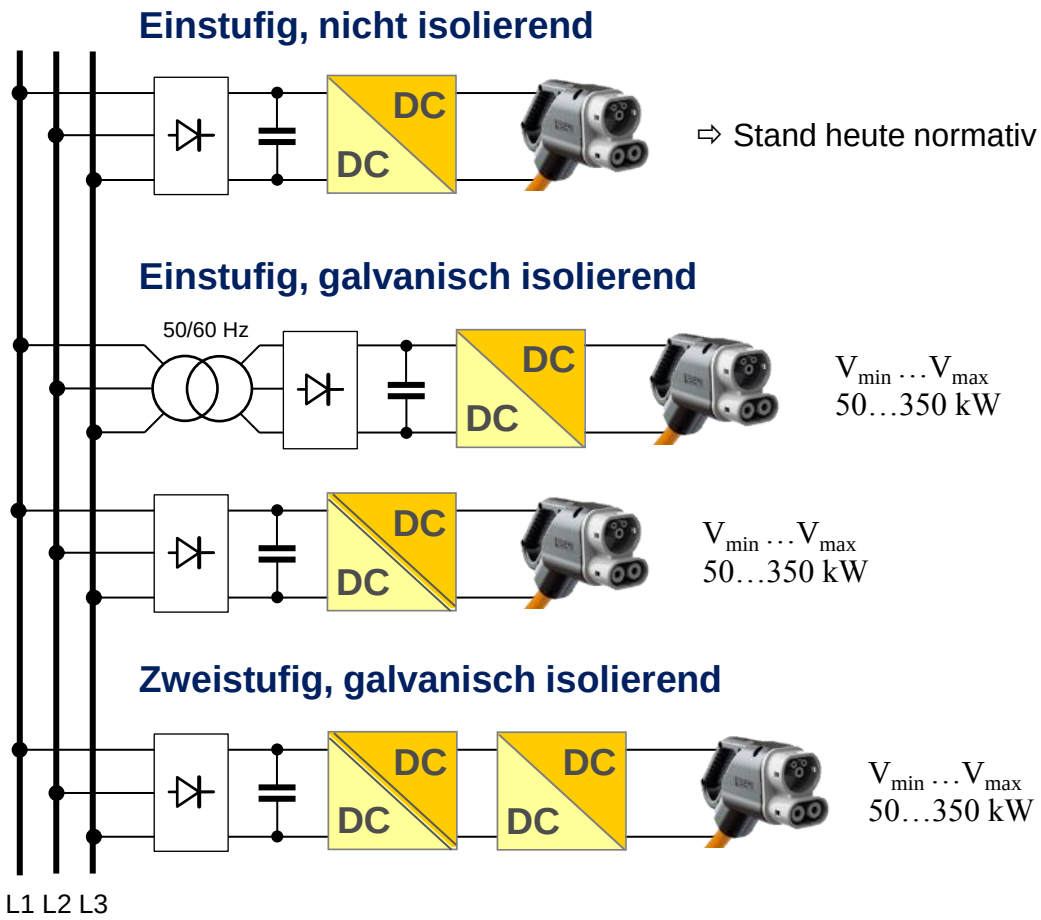
Kabelgebundenes Laden

	Ladeparameter	Ladezeit für 100 Fahrkilometer	Ladegerät	
	AC 230 V, 16 A (einphasig) 3,7 kW	5 h	im Fahrzeug	onboard charger
	AC 400 V, 32 A (dreiphasig) bis 22 kW	50 min.	im Fahrzeug	onboard charger
	AC 400 V, 63 A (dreiphasig) bis 43 kW	25 min.	im Fahrzeug	Inverter
	DC bis 145(350) kW	4…10 min.	stationär	in **Ladesäule**

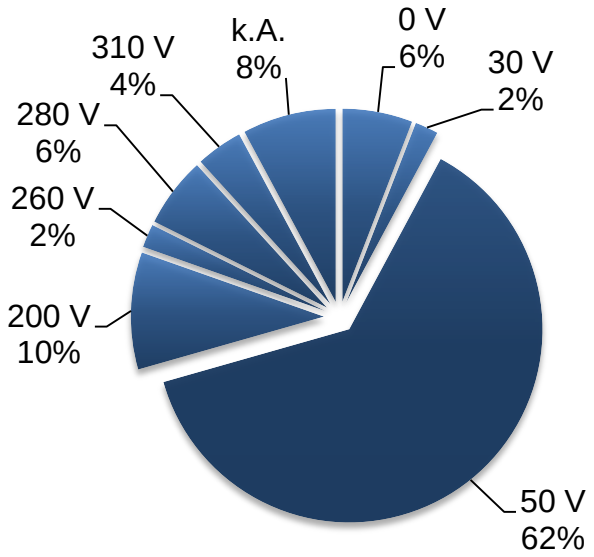
Die Lösung für hohe Ladeleistungen

© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

DC-Schnellladepunkte - Realisierungsoptionen

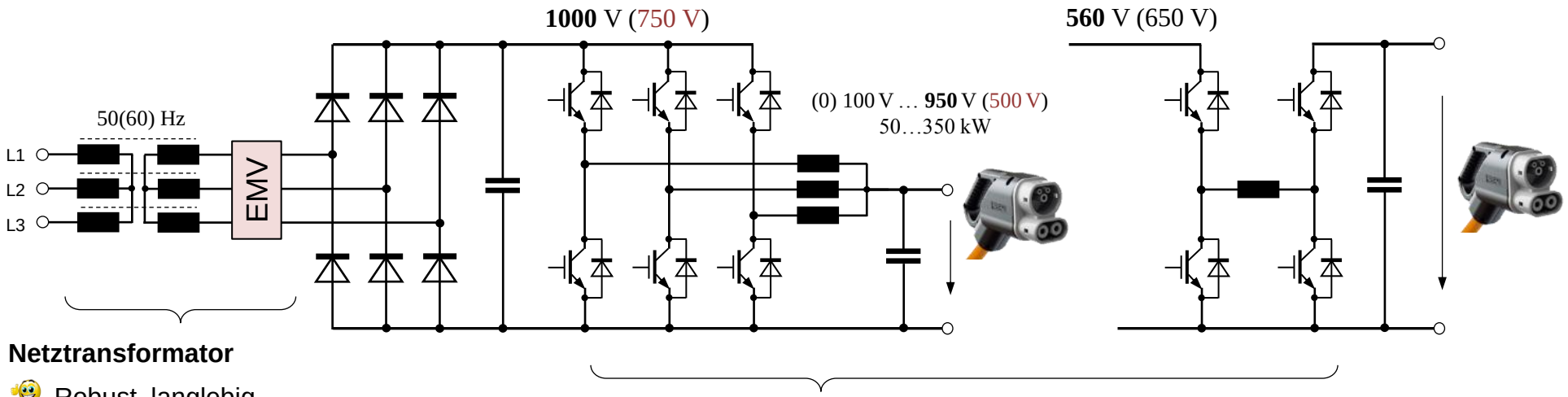


Marktübersicht Minimalspannung V_{min}
(51 DC-Ladesäulen diverser Hersteller)



© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

DC-Schnellladen ■ **Isolation netzseitig**



Netztransformator

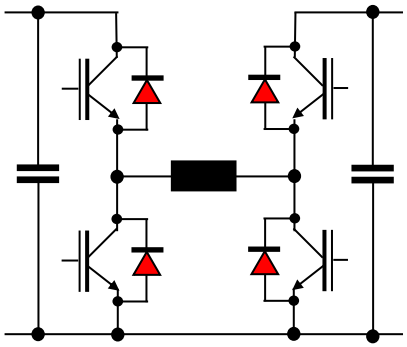
- Robust, langlebig
- Sehr voluminös und schwer

Halbleiterschalter	**Typ. Schaltfrequenzen** in kHz
Si-IGBT & Si-Dioden	2 … 6
Si-IGBT & SiC-Dioden (hybrid)	10 … 15
SiC-MOSFET	25 … 70

© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

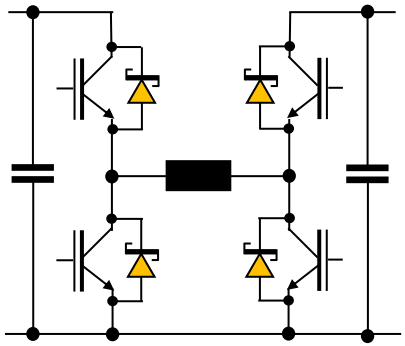
Grenzen moderner Leistungshalbleiterbauelemente

Schalter und Dioden **bipolar**



Si IGBT + Si Diode

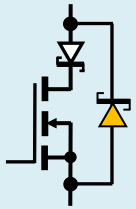
Schalter **bipolar,** Dioden **unipolar**

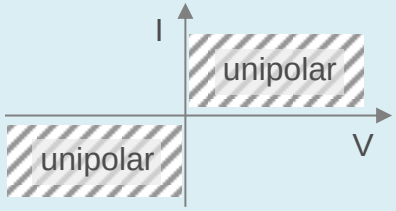


Si IGBT +
SiC Schottky Diode

Schalter und Dioden : **unipolar**

Si MOSFET
+ SiC SBD





SiC/GaN xFET ▶ SiC MOSFET/JFET und erste GaN-FET verfügbar

Si Leistungshalbleiter in **resonanten** Topologien ▶ Nicht in allen Topologien wirtschaftlich sinnvoll machbar

0	**50 kHz**	**100 kHz**	**„650 V Leistungshalbleiter“**
0	**15 kHz**	**30 kHz**	**„1200 V Leistungshalbleiter“**

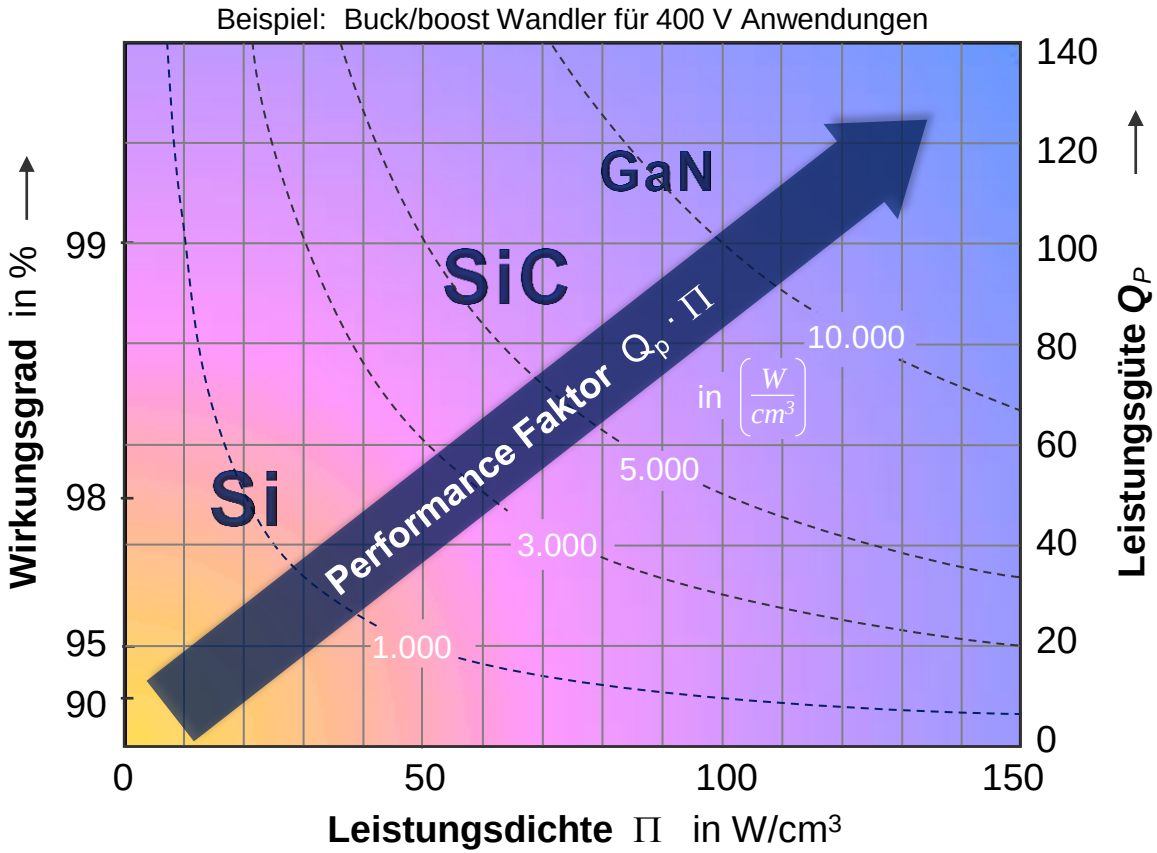
Schaltfrequenz

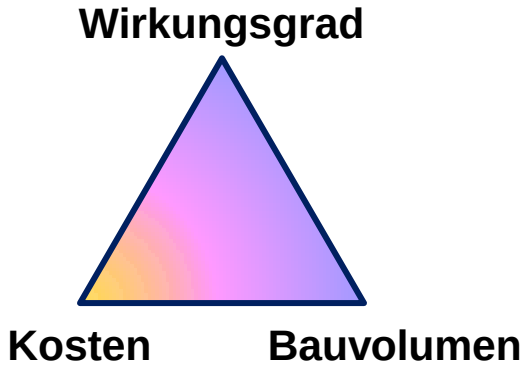
Schaltfrequenzgrenzen für Spitzenwirkungsgrad jenseits 98%

© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

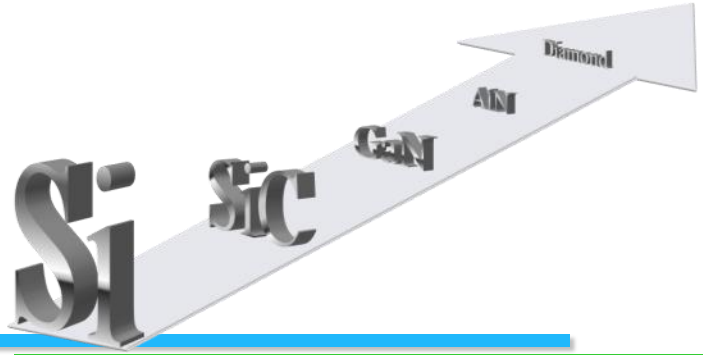
Ladetechniken für Elektrofahrzeuge

Leistungselektronik im **Zielkonflikt** zwischen **Wirkungsgrad, Leistungsdichte** und **Kosten**



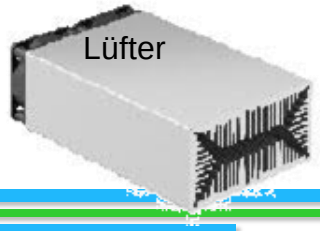


Die Breite an Optimierungsmöglichkeiten wächst stetig



© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

Effizienzsteigerung ist kein Selbstzweck

Wandler-effizienz	Verlust-leistung	Kühl-maßnahme
	bei **10 kW** Ausgangsleistung	
99.5%	50 W	**keine!**
99%	100 W	
98%	200 W	
95%	500 W	

Der Kampf um die letzten zehntel Prozent Wirkungsgrad ist weniger eine Frage der Energieeffizienz auf Systemebene – Zielsetzung ist vielmehr:

- alle Arten aktiver Kühlmaßnahmen loszuwerden (Verschleißteile Pumpen, Lüfter)
- Betriebszeiten von 20 bis 40 Jahre zu erreichen, wie sie in Energieversorgungsanwendungen gefordert werden
- die thermische Belastung der Umgebung zu reduzieren (z.B. bei Integration in ein Li-Ion Batteriesystem)
- die maximal zulässigen Umgebungstemperaturen erhöhen zu können

© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

Effizienzsteigerung ist kein Selbstzweck

Voll-SiC DC/DC Wandler (Buck/Boost)

- Spannungsbereich: 90…800 V / 15 kW
- Volumen: 3.05 Liter
- Effizienz: bis 99.71 %[1)]

Dauerbetrieb mit 10 kW Ausgangsleistung ohne jede aktive/forcierte Kühlung!

Bei 380 Volt / 10 A verlustärmer als diese 5 m Verlängerungskabel[2)]!

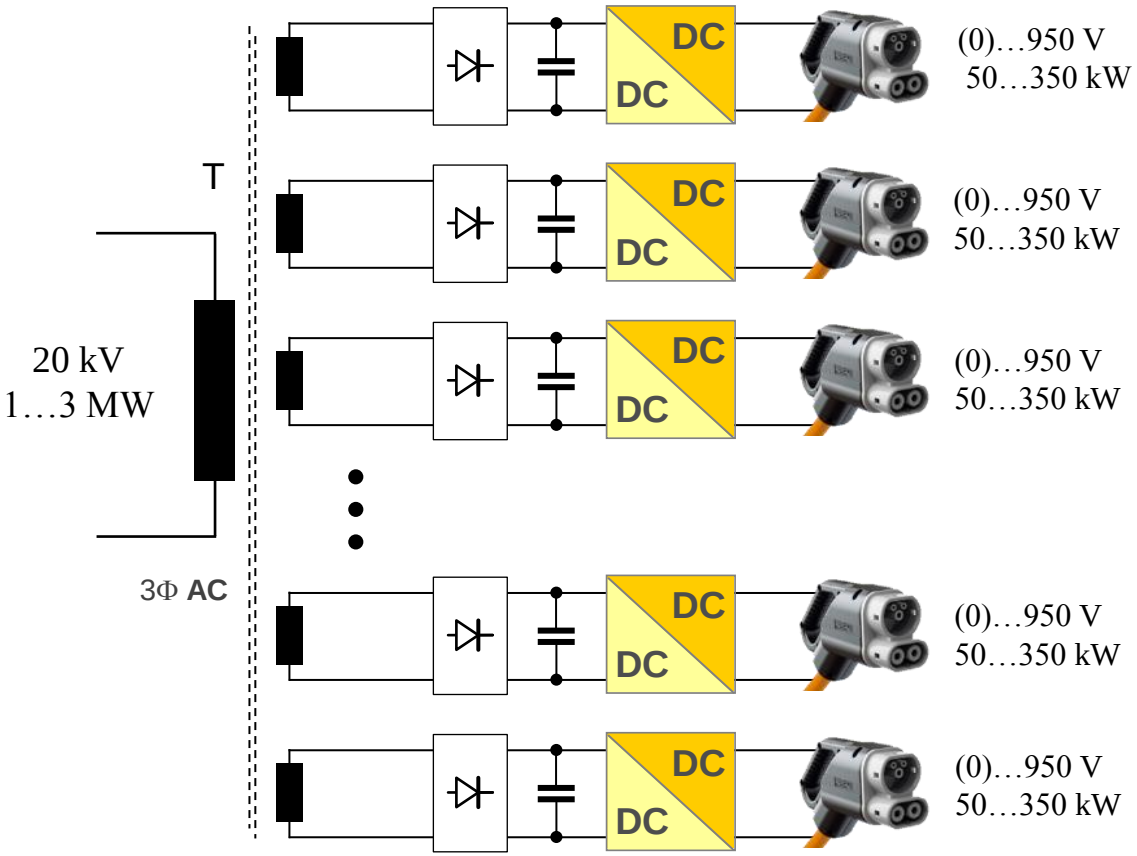
1) @ 7 kW; 800 V ⇨ 600 V

2) 1.5 mm² Cu

© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

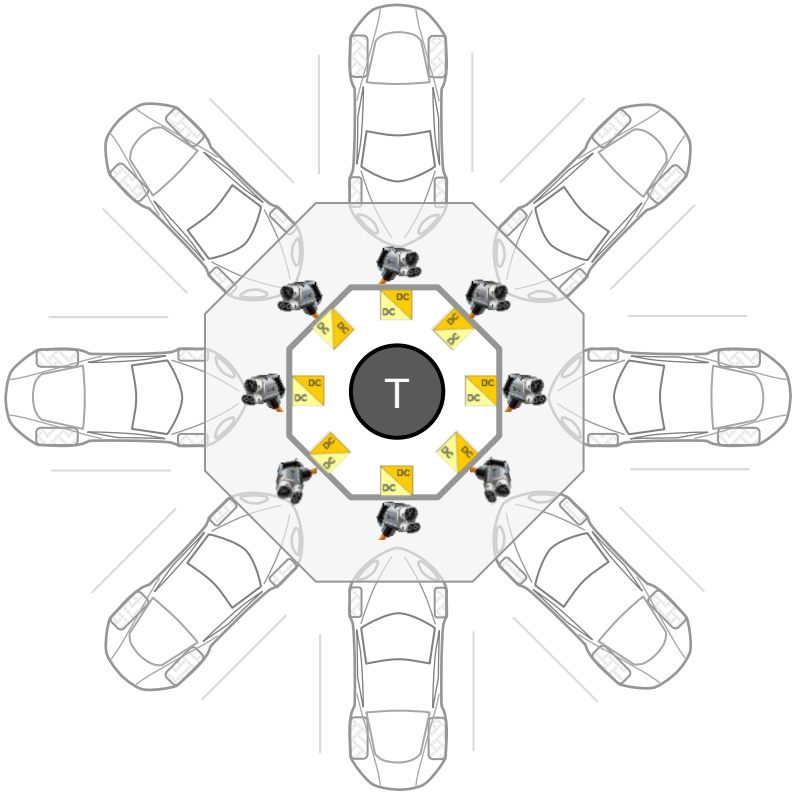
FAU LEHRSTUHL FÜR ELEKTRISCHE ENERGIETECHNIK Fraunhofer IISB

DC-Schnellladen ■ **Isolation netzseitig**



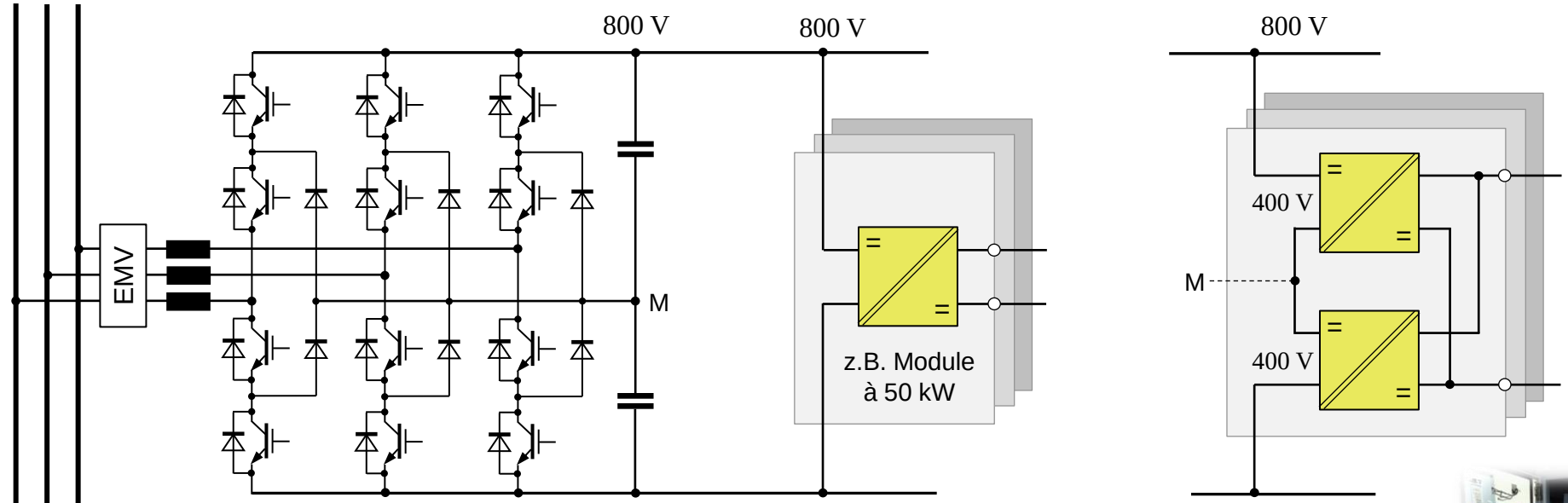
Realisierungsbeispiel

DC-Schnellladeinsel



© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

DC-Schnellladen ■ **Isolation via Mittelfrequenztransformator**



Active Frontend (AFE)
(NPC, T-NPC, Vienna rectifier, B6-Boost)

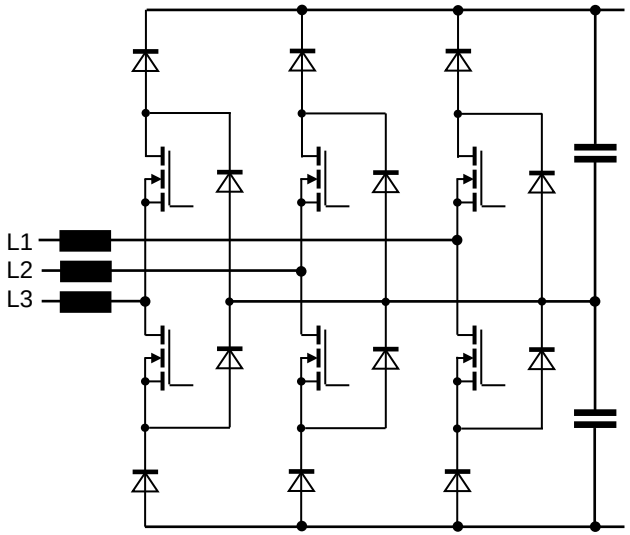
Isolierender DC/DC-Wandler
(große Topologievielfalt)

3-Level Gleichrichter bieten einen günstigen Kompromiss zwischen Aufwand für Leistungshalbleiter und passive Bauelemente (EMV-Filter)

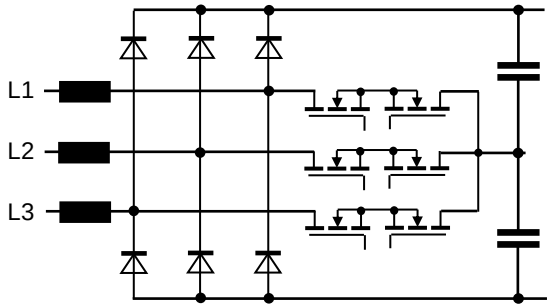
© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

Aktive 3-Level AC-Frontend Topologien (mit Boost-PFC Funktionalität)

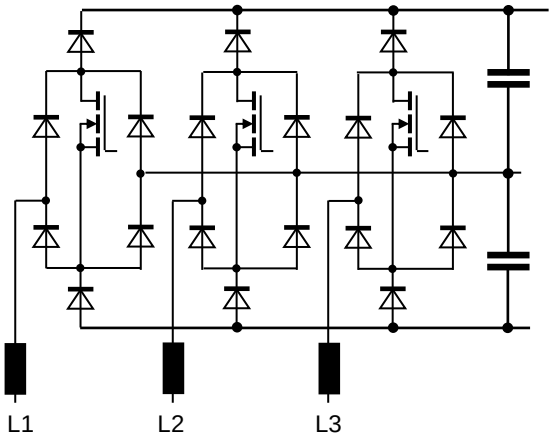
NPC Gleichrichter



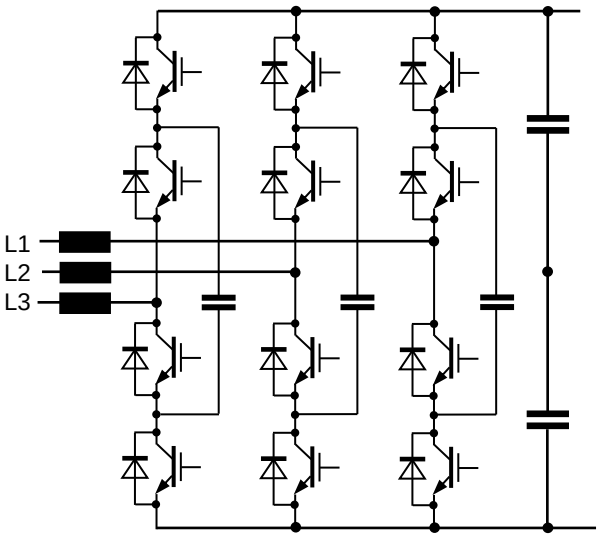
T-Type NPC



Vienna I

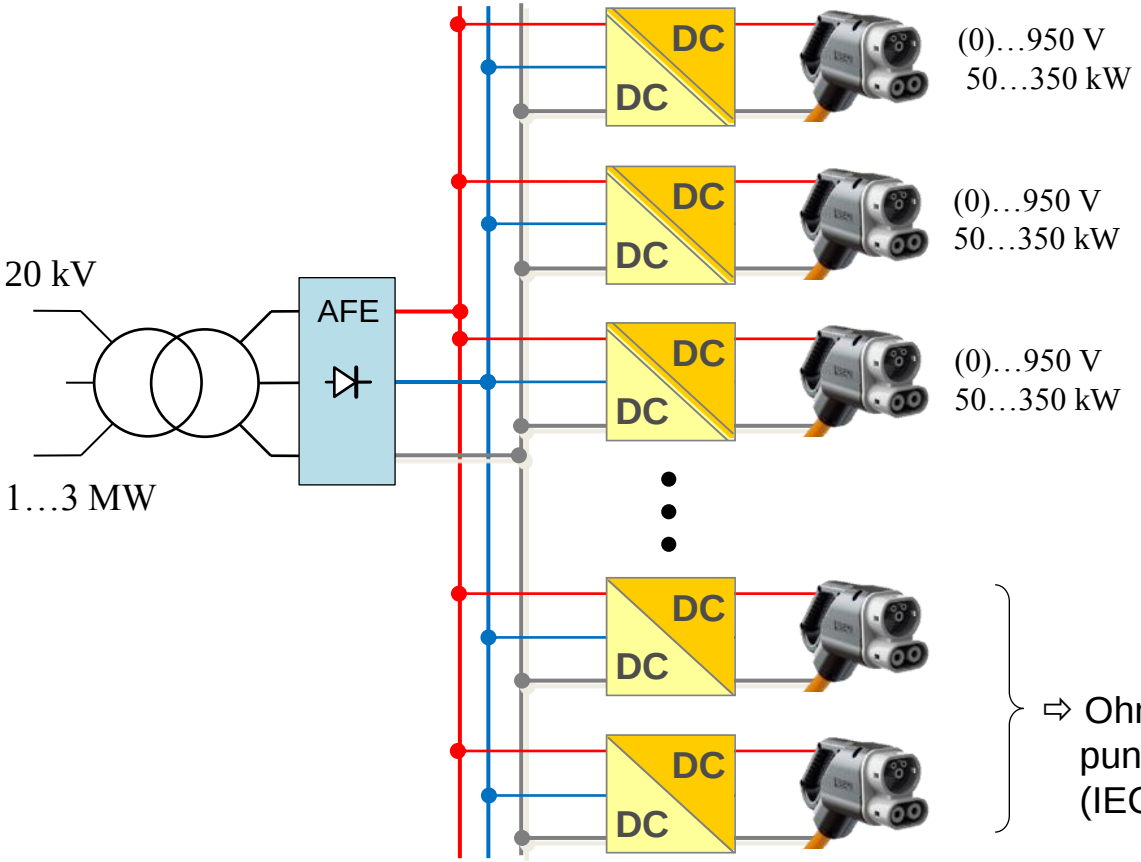


Flying-Capacitor (FC)



© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

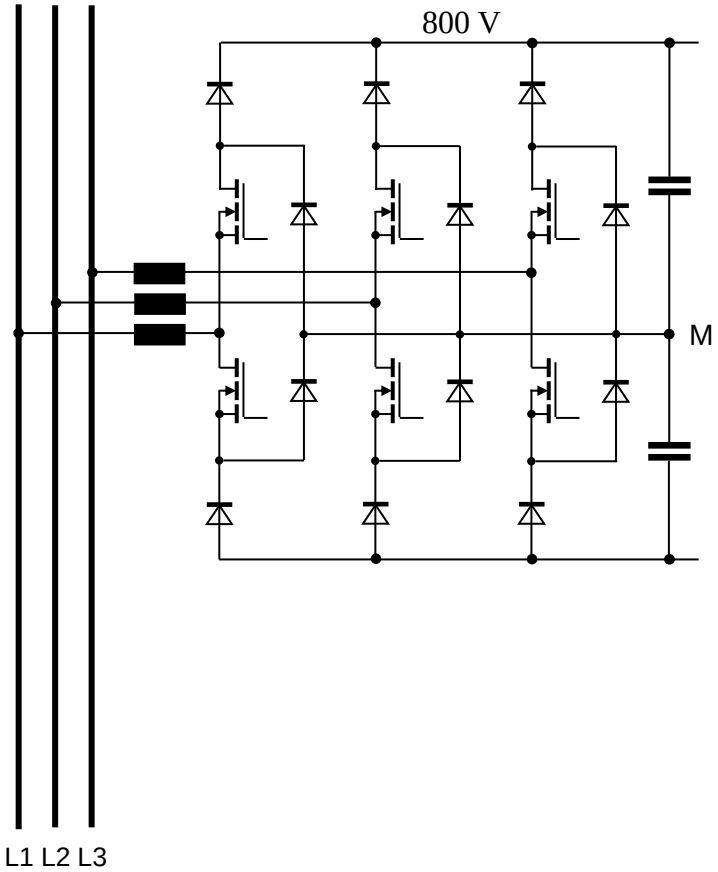
DC-Schnellladen ■ **Mehrere Ladepunkte an einem DC-Zwischenkreis**



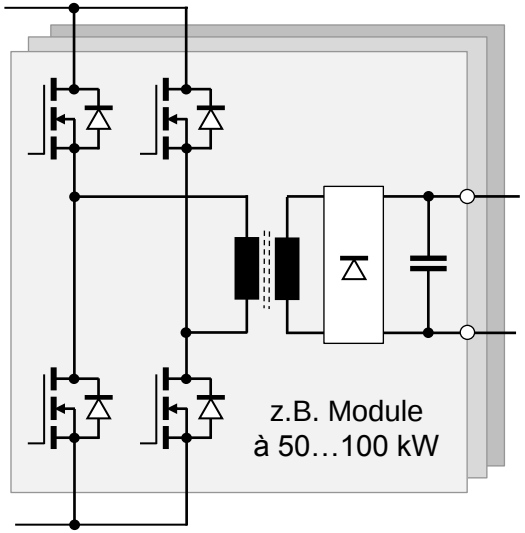
⇨ Ohne galvanische Isolation zwischen den Ladepunkten normativ (Stand heute) nicht zugelassen (IEC 61851-23 ED2 von Juli 2017)

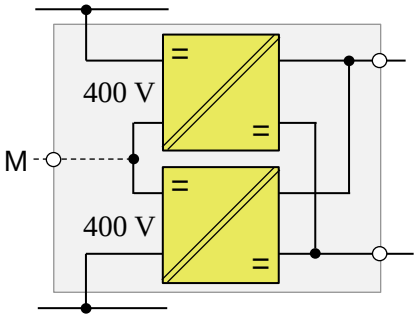
© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

DC-Schnellladen ■ **Isolation via Mittelfrequenztransformator**

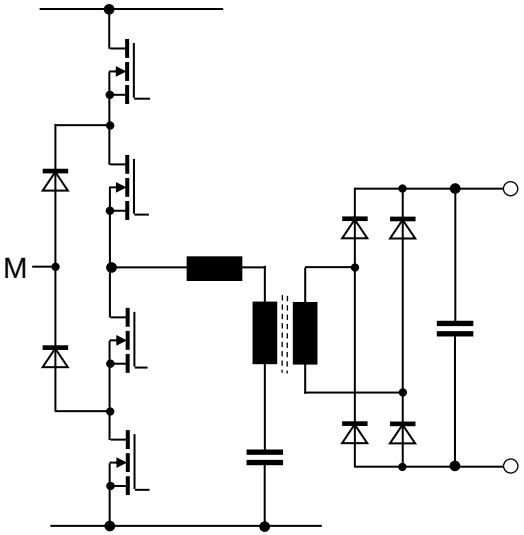


2-Level Ansätze





3-Level Ansätze

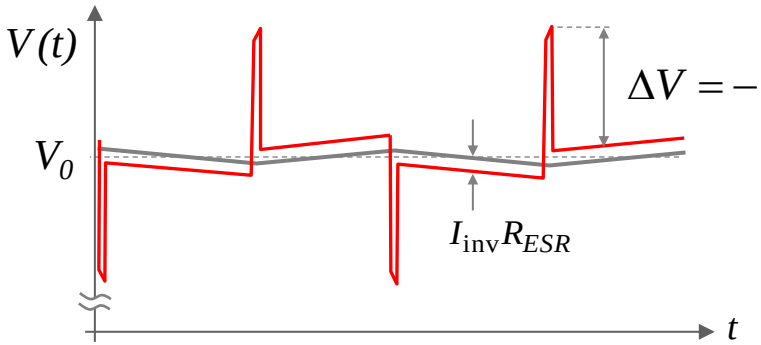


nach Xuan Wang et al., „Three-Level Half-Bridge LLC Converter with Phase Shift and Frequency Modulation Control", IECON 2016, DOI: 10.1109/IECON.2016.7793068

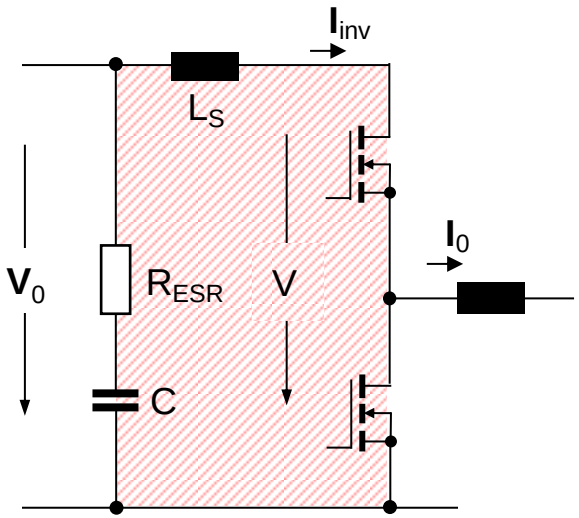
© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

Warum Modularisierung?

Abschaltüberspannung



$$\Delta V = -L_S \frac{dI}{dt} \quad (1)$$



Mit der Schaltzeit t_{sw} und der relativen Abschaltüberspannung

$$k_{ü} = \frac{\Delta V}{V_0}$$

folgt aus Gl. (1):

$$L_S \overset{!}{\leq} \frac{V_0}{I_0} \cdot k_{ü} \cdot t_{SW}$$

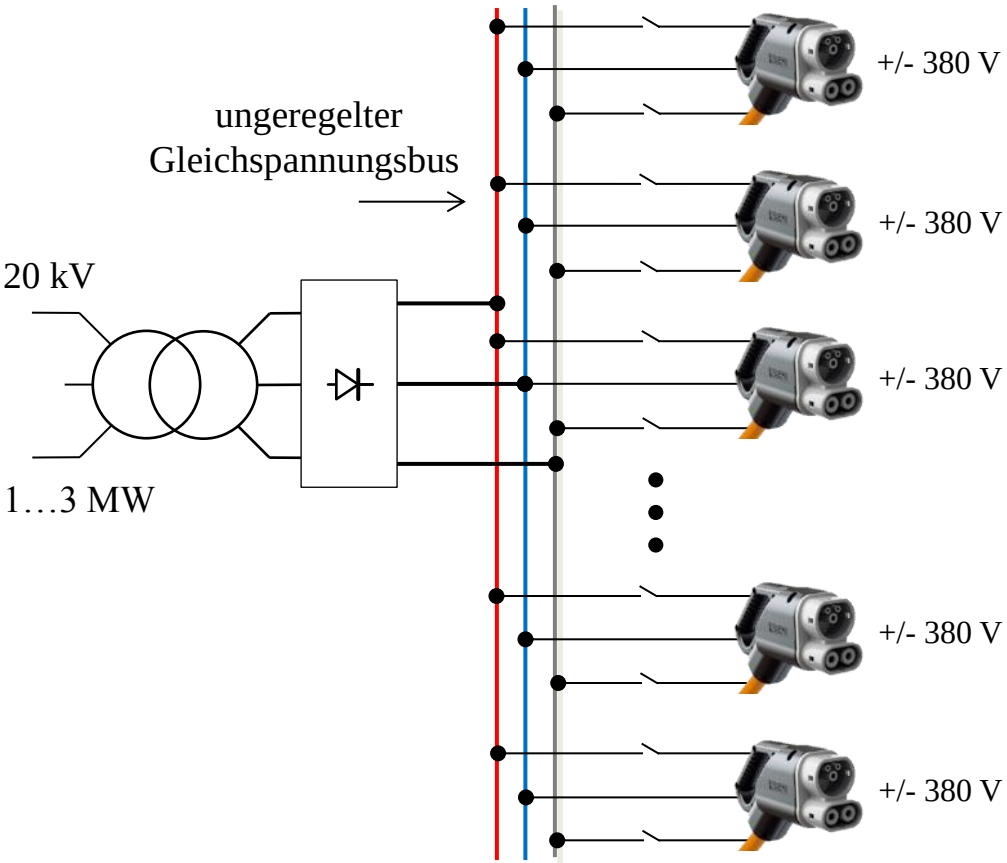
Beispiel: $L_S \leq \frac{800\,\mathrm{V}}{100\,\mathrm{A}} \cdot 10\% \cdot 10\,\mathrm{nsec} = 8\,\mathrm{nH}$

Modularisierung ist ein zentrales Instrument, um die Eigenschaften moderner schneller Leistungshalbleiter auch wirtschaftlich sinnvoll nutzbar machen zu können.

© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

DC-Schnellladen

Paradox: Die kostengünstigste **Systemlösung** steht derzeit nicht zur Debatte!?



Spannungsanpassung und Laderegelung im Fahrzeug mittels sowieso vorhandener Komponenten des Antriebs-strangs (vgl. Inverterladen)

Vorteile

- Minimiert die Ladeinfrastrukturkosten
- Minimiert Zusatzkosten und Gewicht im Fahrzeug durch intelligente Nutzung vorhandener Komponenten
- Keine Einschränkungen für Fahrzeug-hersteller durch Ladesäulenspezifikationen
- Präzises und individuelles Lademanage-ment möglich (Differenzierungspotential, IP-Schutz)

© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

Achtung: Schnellladen ist keine Lösung für das alltägliche Laden!

- Begrenzte Akzeptanz eines extra Anfahrens von „Super-Chargern“, das Laden zuhause wird klar bevorzugt!
- Hoher (kaum refinanzierbarer) Investitionsaufwand für Ladeinfrastruktur
- Ausrüstung von Parkplätzen wirtschaftlich unsinnig, da teure Infrastruktur für gesamte Parkdauer - und nicht nur die kurze Ladezeit - blockiert ist
- Inkompatibel zu nahezu allen Netzdienstleistungen (V2G)
- Nicht sinnvoll nutzbar für den Netzbetrieb von Funktionen wie Innenraum- und Batterievorwärmung im Winter sowie Standklimatisierung im Sommer

- DC-Schnelladeinseln an strat. ausgewählten Orten (z.B. Rastanlagen)
- Zielausbaudichte DC-Schnellladepunkte: vergleichbar dem heutigen Tankstellennetz (14 Tsd.)

© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

Kabelgebundenes Laden ist keine Lösung für das alltägliche Laden!

- Ausgesprochen unkomfortables Handling bei
  - ⇨ Nässe
  - ⇨ Kälte
  - ⇨ Eis, Schnee
  - ⇨ Dunkelheit
  - ⇨ Kurzzeitparkstops
- Anfällig gegen Vandalismus und Diebstahl ⇨
- Latente Stolperfallen (Haftungsrisiko)

© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

Alltagstaugliche Ladelösung

das heißt **kabellos, kostengünstig** und **überall verfügbar**

zu Hause

beim Einkaufen

am Arbeitsplatz

Eine Stunde kostenloses Laden am Supermarkt kostet dem Betreiber weniger als einen Euro, motiviert den Kunden länger im Laden zu verbleiben, steigert den Umsatz.

© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

Kabelloses Laden muß nicht teuer sein!

Beispiel

Induktionskochfelder

- Anschluß: 230 V_{AC}
- Leistung: 2.000 Watt
- **Endverkaufspreis**: ab 30,- Euro

Bildquelle: LIDL

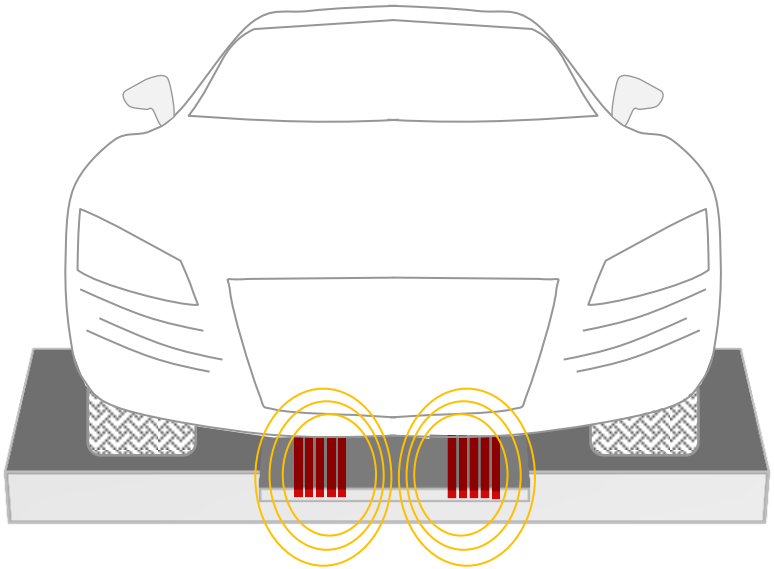
Parkplatzseitig ist die Technik nahezu identisch zu der eines kabellosen 3,5 kW Ladepunkts!

Bei Verzicht auf Übertragungsdistanz lassen sich kabellose Ladepunkte zu höchst attraktiven Kosten realisieren!

Die wichtigste Voraussetzung für eine flächendeckende Ladeinfrastruktur mit höchstem Nutzerkomfort ist damit bereits heute erfüllbar.

© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

Kontaktloses Laden während der Fahrt über die Fahrbahn



Immense Initialkosten für die Infrastruktur!

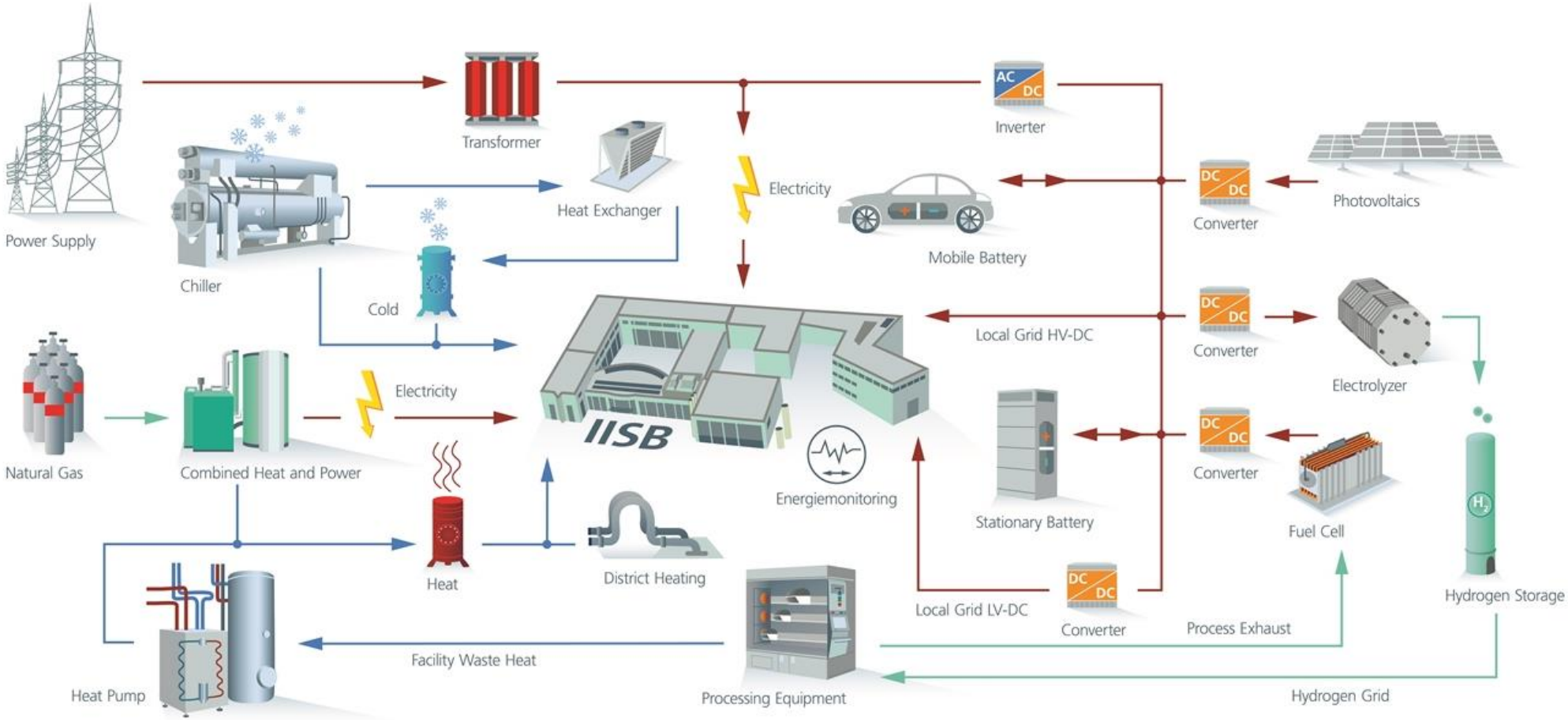
Herausforderungen

- Induktorauslegung im Spannungsfeld zwischen Positionstoleranz, Bodenfreiheit, Systemwirkungsgrad und übertragbarer Leistung
- Beherrschung unterschiedlichster Streckenbelastungen (Fahrzeugdichten)
- Fahrbahnsegmentierung in Speiseabschnitte (Wanderfeld)
  - ⇨ Vermeidung eines Energievernichtungssystems
- EM-Sicherheit

Persönliche Meinung des Autors: **Für den PKW-Verkehr eine Schnappsidee!**

© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

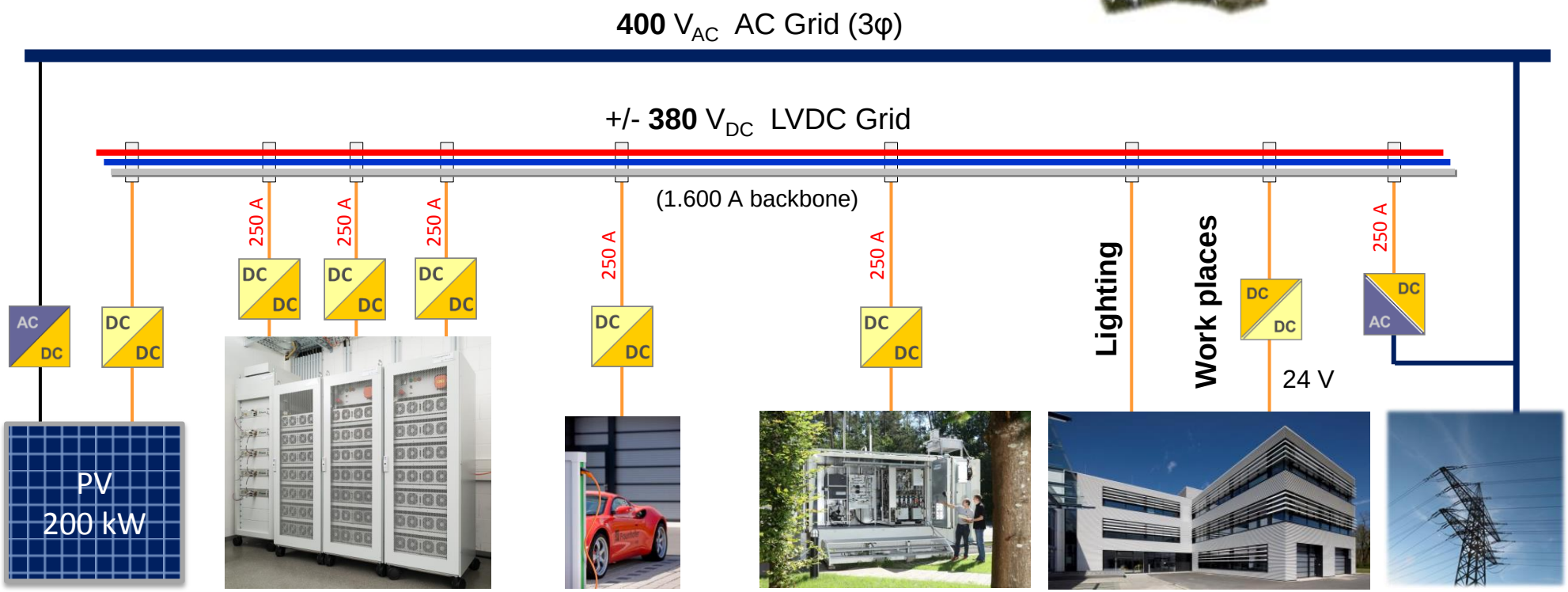
Einbindung der Ladeinfrastruktur in Gebäude



© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

The High-Power DC Grid at Fraunhofer IISB

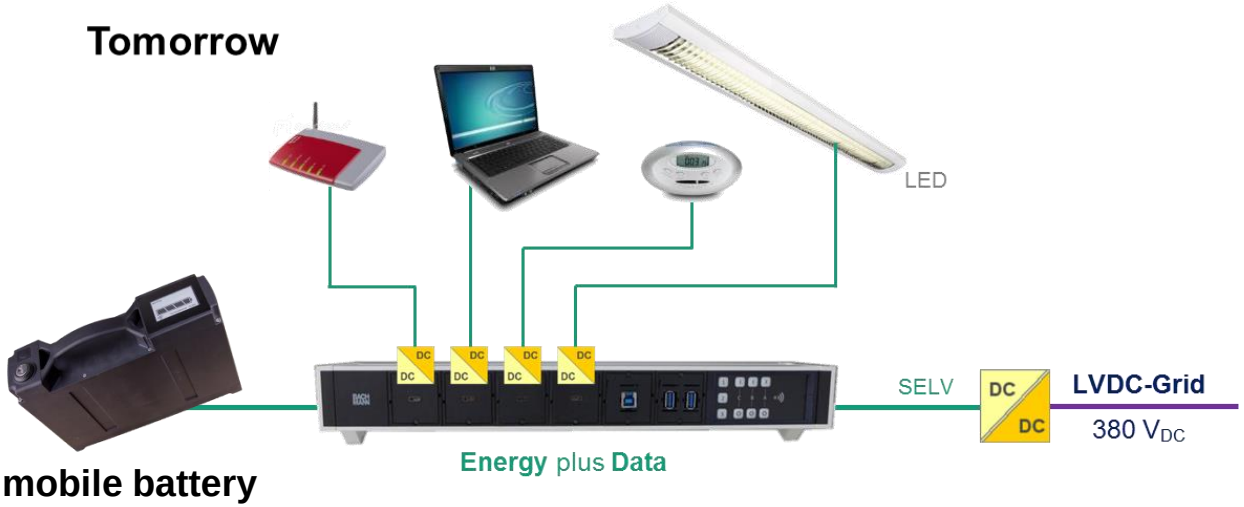
in field operation for peak load shaping



© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

FAU LEHRSTUHL FÜR ELEKTRISCHE ENERGIETECHNIK Fraunhofer IISB

Electric Building Infrastructure ■ Today and Tomorrow



DC-Desk Distribution

DC/DC 380V <-> 24V / 48V

© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

Power Electronics for LVDC Grids

power @ 380 V_{DC} with droop control

IoT

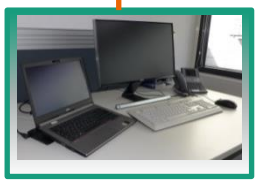
necessary for battery, PV integration

room / office

24 / 48 VDC

SAFE extra low voltage

lower costs, higher efficiency



up to 600W

facade or window integrated photovoltaics

presented @ BACHMAN booth
light and building, Frankfurt 2016

container with battery and inductive power transfer to desk

USB type C power supply

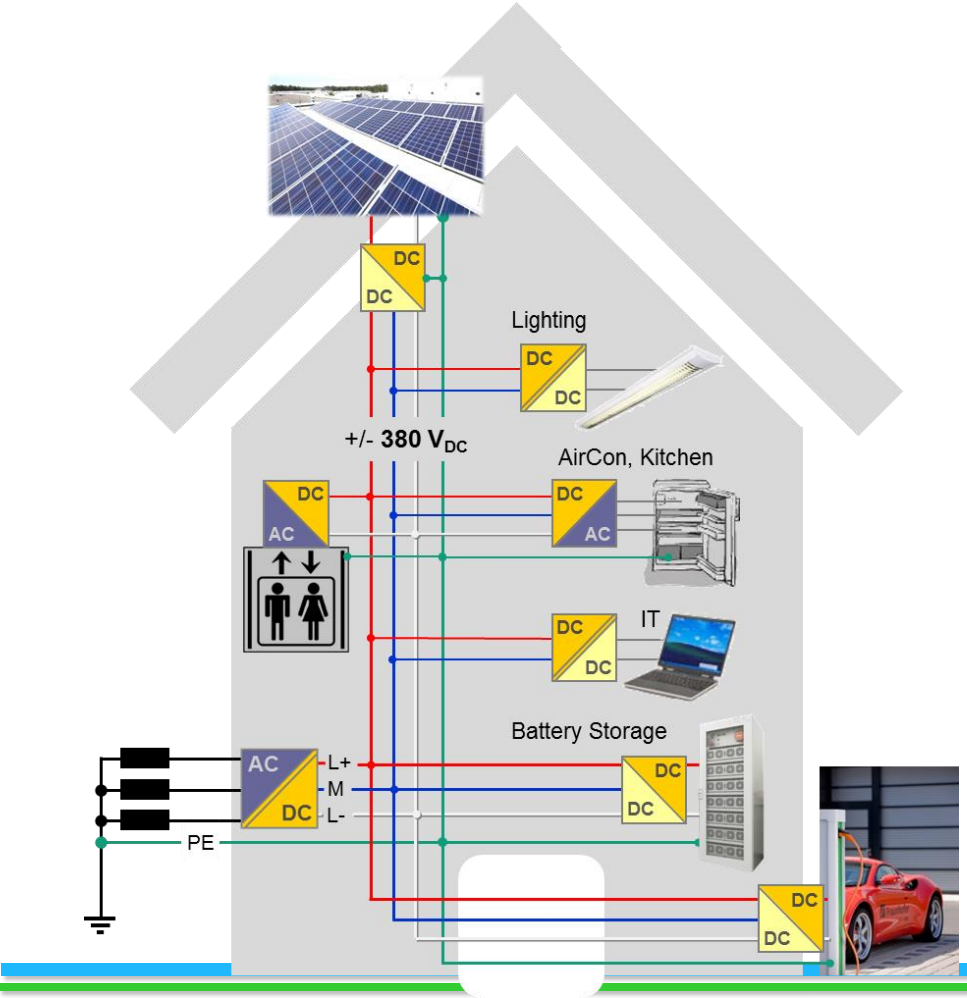
© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

LEHRSTUHL FÜR ELEKTRISCHE ENERGIETECHNIK

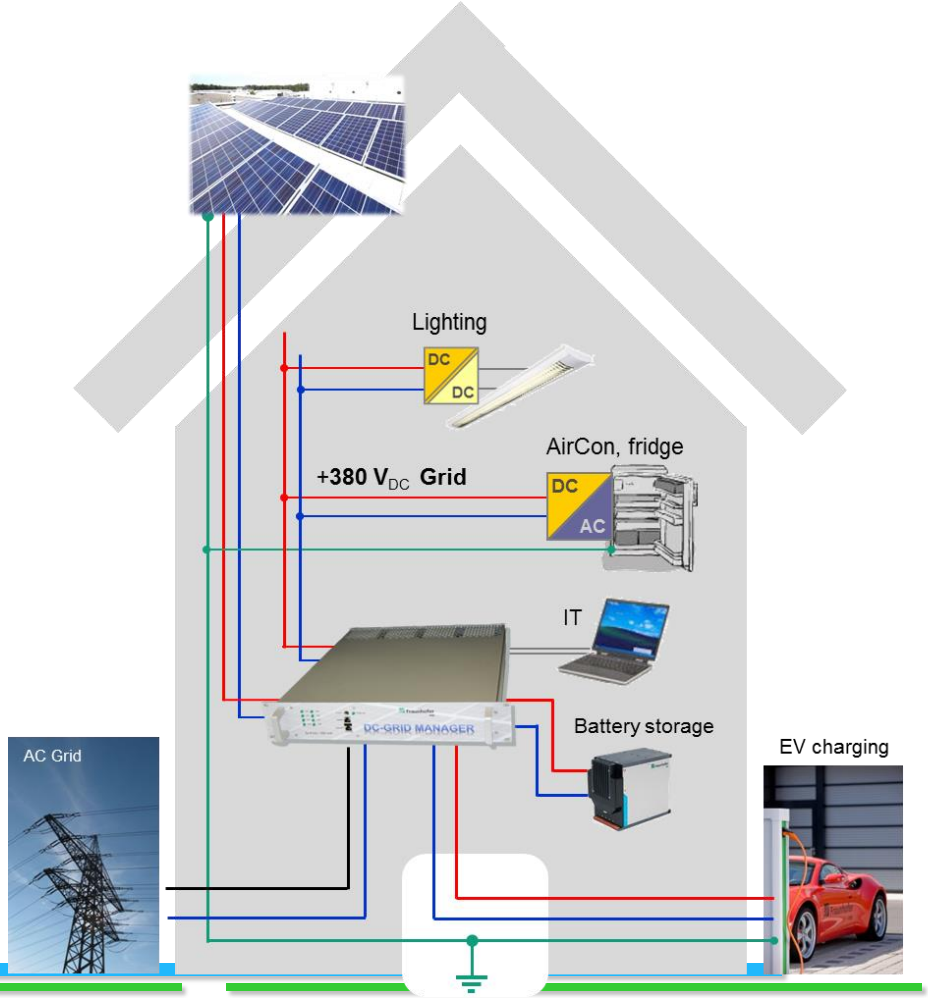
Fraunhofer IISB

Power Electronics for LVDC Grids

Decentral (buslike) **Grid**



Central (starlike) **Grid**



© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

LEHRSTUHL FÜR ELEKTRISCHE ENERGIETECHNIK

Fraunhofer IISB

Smart Local LV DC Grids

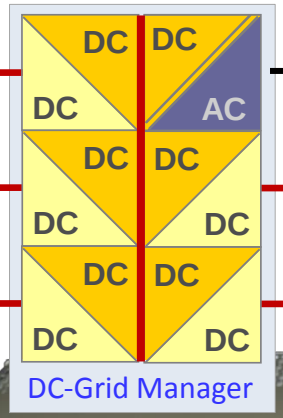
Fraunhofer IISB
DC Application Center

Local power generation

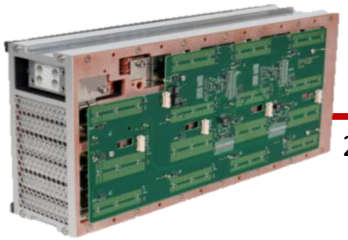
MPP tracking 0…20 A

Public AC grid

-11…+11 kW bidirectional AC grid link



Stationary batteries



-40…+40 A

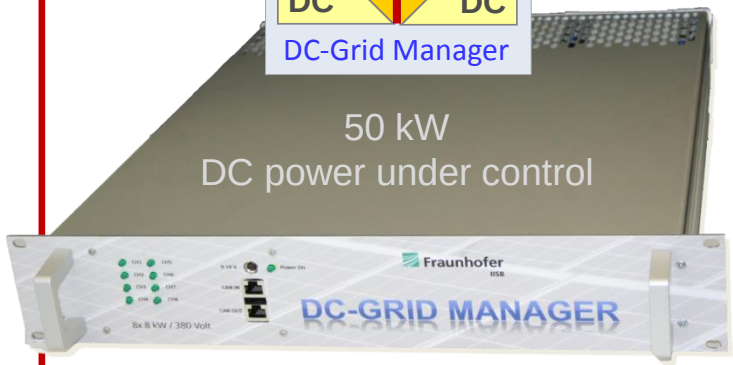
250…400 V_{DC}

-60…+60 A

0…20 A, **380 V_{DC}**

-20…+20 A

Consumers



Mobile batteries

DC fast charging

380 V_{DC}

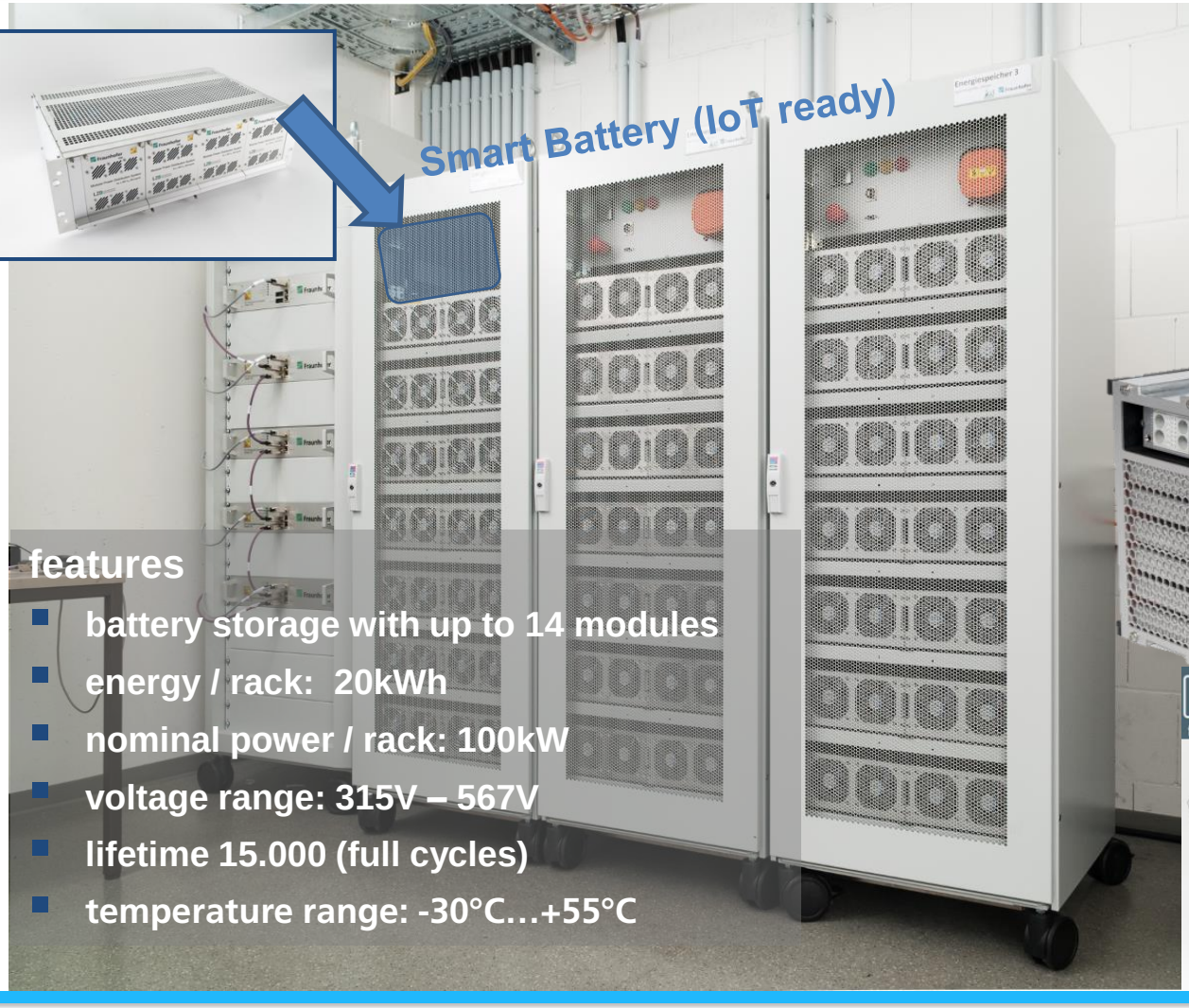
Prosumers

1) DC-Grid Manager: 19“, 2 HU, 8 DC channels à 20 A

© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

Power Electronics for LVDC Grids

Smart Battery (IoT ready)



features

- battery storage with up to 14 modules
- energy / rack: 20kWh
- nominal power / rack: 100kW
- voltage range: 315V – 567V
- lifetime 15.000 (full cycles)
- temperature range: -30°C…+55°C

fox BMS® free.open.flexible

https://www.foxbms.org/

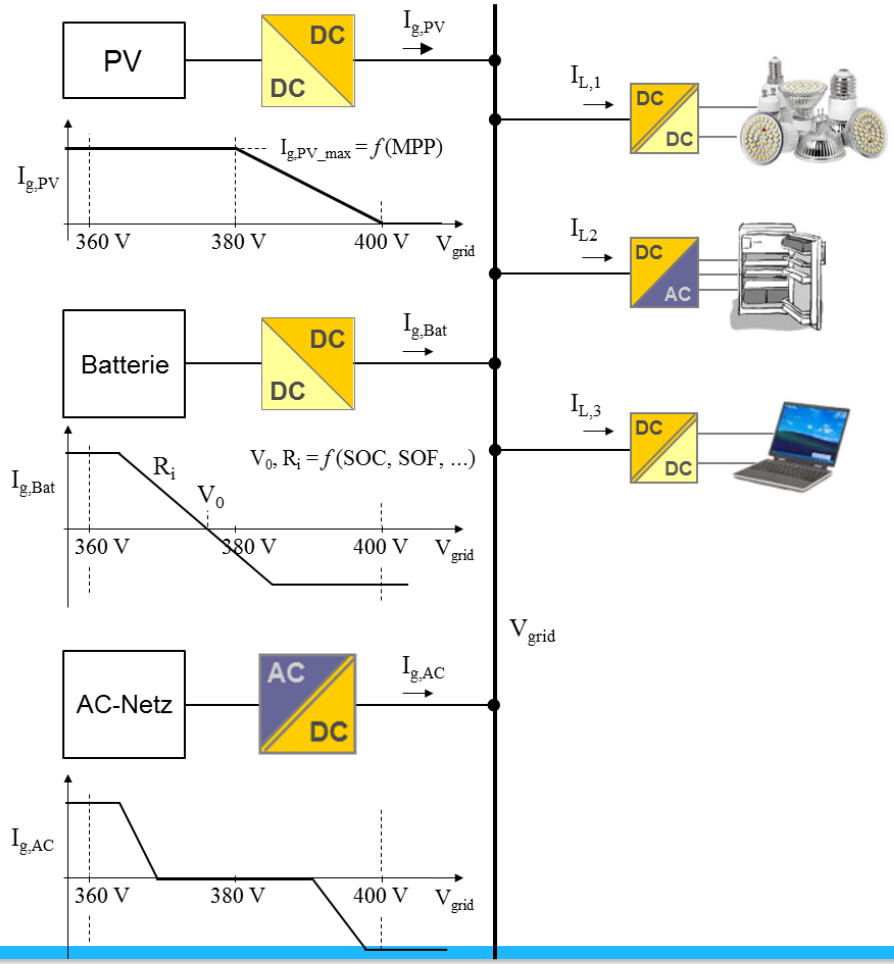
© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

FAU

LEHRSTUHL FÜR ELEKTRISCHE ENERGIETECHNIK

Fraunhofer IISB

Droop control, a method to control a grid without a superordinate master



- The grid voltage (V_{grid}) serves as the central control parameter
- All feed-in converters behave like **voltage sources with internal resistance**

Advantages

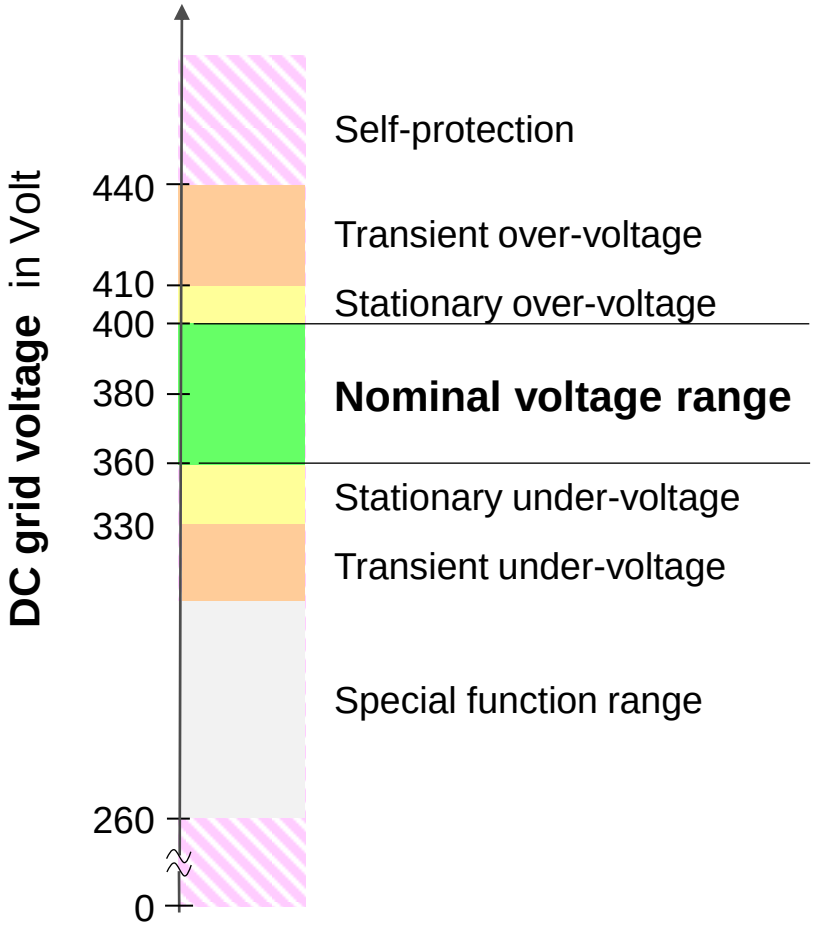
- No superordinate grid controller necessary
- Maximum in reliability, availability and flexibility
- High level functions can be realized by changing the droop characteristics

Challenges

- Ensuring unconditional dynamic grid stability

© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

Voltage Specification used in the Fraunhofer DC-Grid



Behavior of devices and components

Self-protection	Switch-off for self-protection allowed
Transient over-voltage	Transient operation with limited functionality and power derating
Stationary over-voltage	Operation with full functionality, power derating allowed
Nominal voltage range	Operation with specified functionality
Stationary under-voltage	Operation with full functionality, power derating allowed
Transient under-voltage	Transient operation with limited functionality and power derating
Special function range	**To be used for various protection and safety functions** Emergency mode (e.g.): only dedicated loads, like emergency lighting or IT-server, are allowed to stay operational

© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

Vielen Dank für Ihr Interesse

© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

FAU

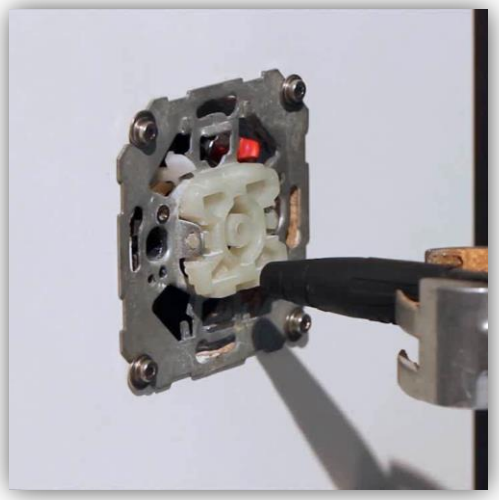
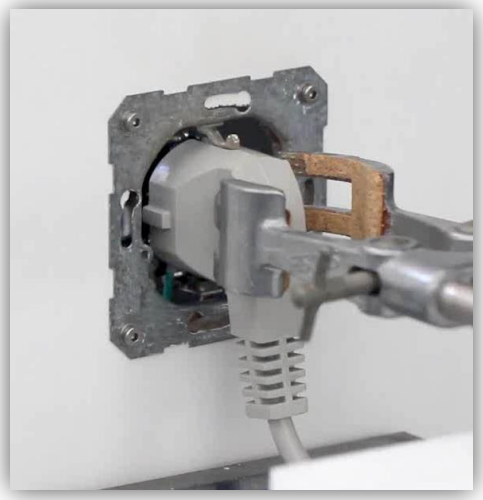
LEHRSTUHL FÜR ELEKTRISCHE ENERGIETECHNIK

Fraunhofer IISB

BACKUP
für
Fragen

© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

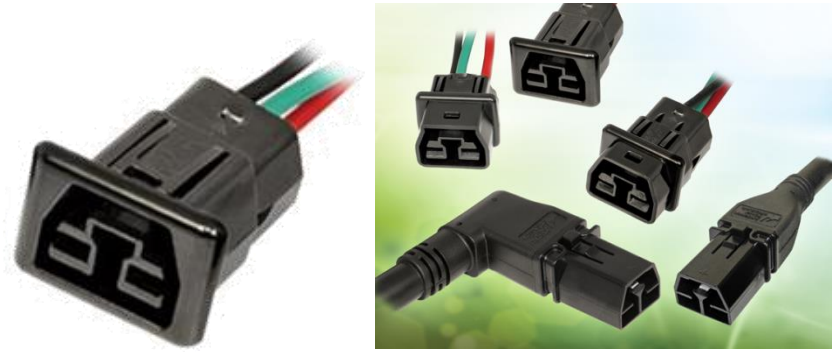
A Problem »Mechanical Disconnecting Devices« (switches, plugs, fuses)

AC Wall Switch	AC Wall Plug	AC Breaker
		
380 V_{DC} / 10 A	380 V_{DC} / 10 A	380 V_{DC} / 10 A

© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

DC Connector Solutions

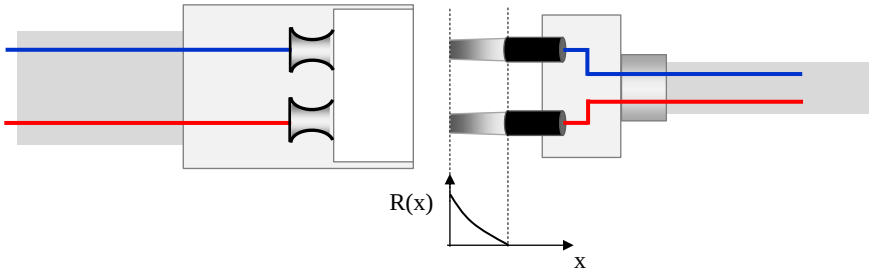
Passive LVDC Connectors



Picture: Safe-D-Grid® 400 from Anderson Power Products (APP)

- Purely passive LVDC connectors are possible for a limited number of plug-in cycles
- Important: material selection, contact design and release force profile
- Example: Safe-D-Grid® 400 from APP (250 plug-cycles under full load 30 A / 400 V_{DC})

Resistive Contact Tip

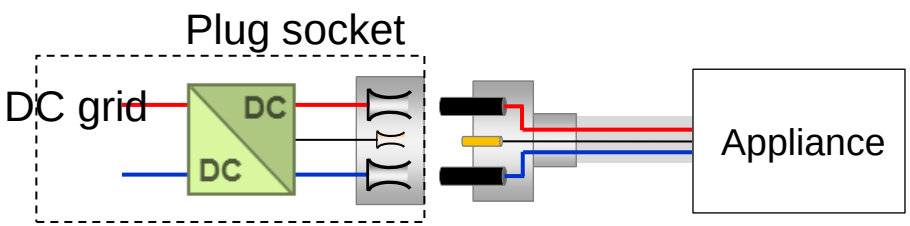


- Resistive contact tips (e.g. of SiC ceramic)
- Intrinsic precharge function for capacitive loads
- Fault situation "incomplete plug-in" must be suitably intercepted

© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

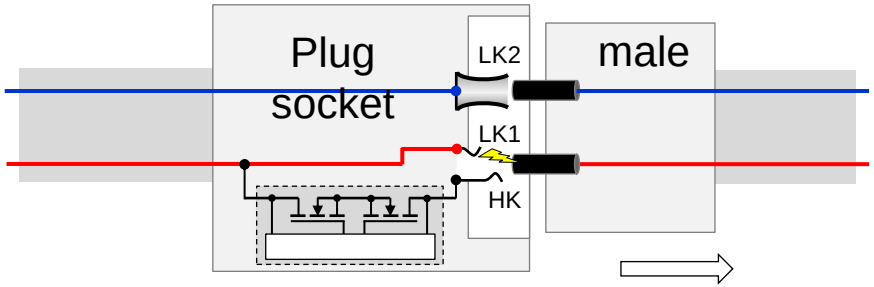
DC Connector Solutions

Pilot Contact



- Plugging is always **currentless**
- Load turns-off current consumption, when a disconnection is signaled by the leading breaking pilot contact
- Can also be used on the source side for switching off the voltage

Hybrid Connector



The arc voltage arising during the disconnection of the leading-opening load contact LK1 drives a semiconductor switch:

» Semiconductor switch and auxiliary contact (HK) take over the load current

» thereby the arc at LK1 immediately extinguishes and

» the semiconductor switch breaks the load current before the main contacts (HK and LK2) are opening.

Based on ideas from: DE102 25 259 B3 (SMA); DE20 2009 004 198 U1 (E.T.A.) and JP 5862818B1

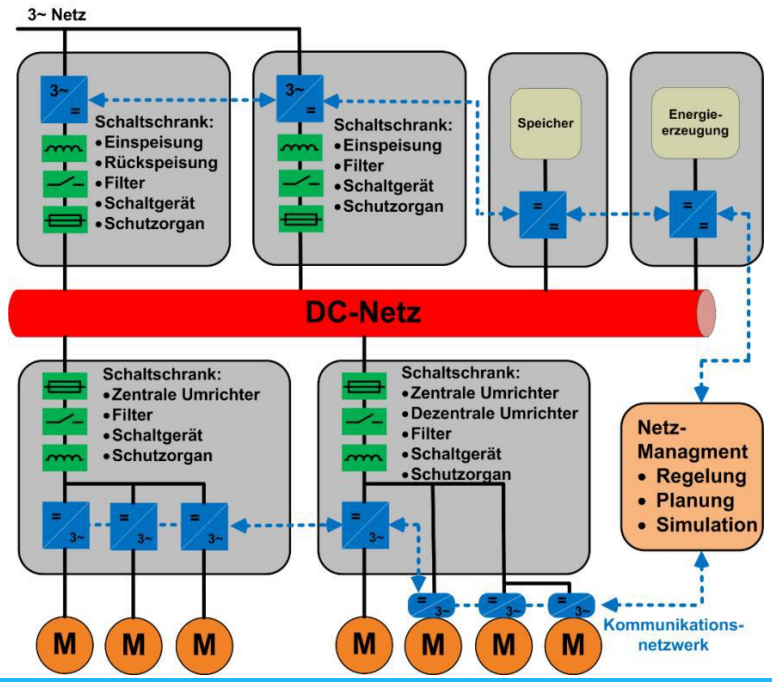
© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

Projekte

© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

DC-Industrie ■ BMWi Research Project

- Increasing industrial plant energy efficiency by 10 %
- Reducing cost for devices up to 20 %



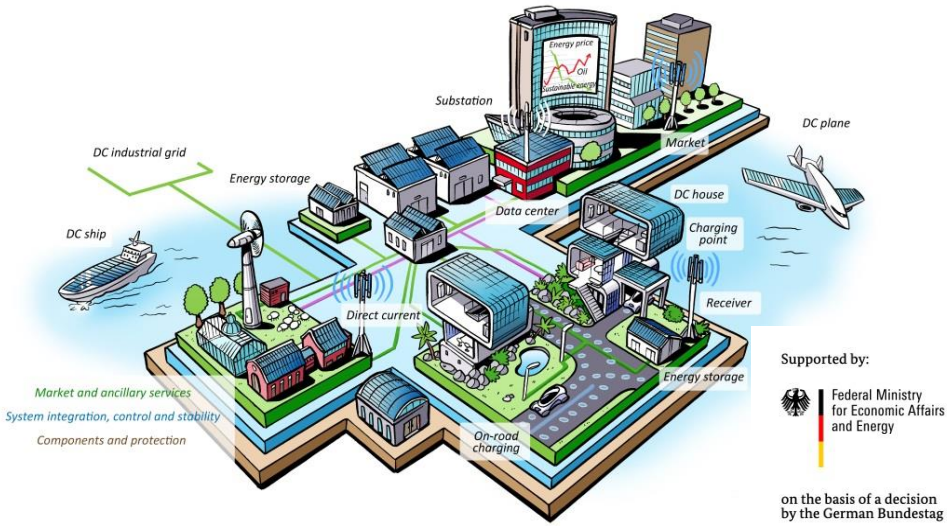
- Funding volume ca. 10 Mio. €
- Timeline: 07/16 – 06/19

© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder

DC Smart
www.dcsmart.eu

DC-Smart ■ EC Research Project

- New protection strategies and solutions that couple smart markets with the physical system
- Design modular topologies for meshed dc distribution smart grids (±380V / ±750V)
- Create models and intelligent algorithms for congestion management and autonomous operation



- Funding volume ≈ 2 Mio. €
- Timeline: 04/16 – 03/19
- Demonstration sites: one in Netherlands and one in Switzerland

© Prof. Dr.-Ing. Martin März & Dipl.-Ing. Bernd Wunder