

ABSCHLUSSPRÄSENTATION LISA4CL

TU Braunschweig – elenia
TU Braunschweig – IMAB
INTIS GmbH

19.09.2024, Braunschweig



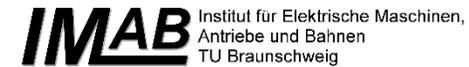
Gefördert durch:



Koordiniert durch:



Projekträger:



Nutzfahrzeuge





- Einleitung und Projektziele
- Entwicklung und Test eines induktiven Ladesystems
- Konduktiver Feldtest
- Erzeugungs- und netzorientierte Ladekonzepte
- Induktiver Feldtest
- Fazit und Ausblick

Abschlusspräsentation LISA4CL

Inhaltsverzeichnis

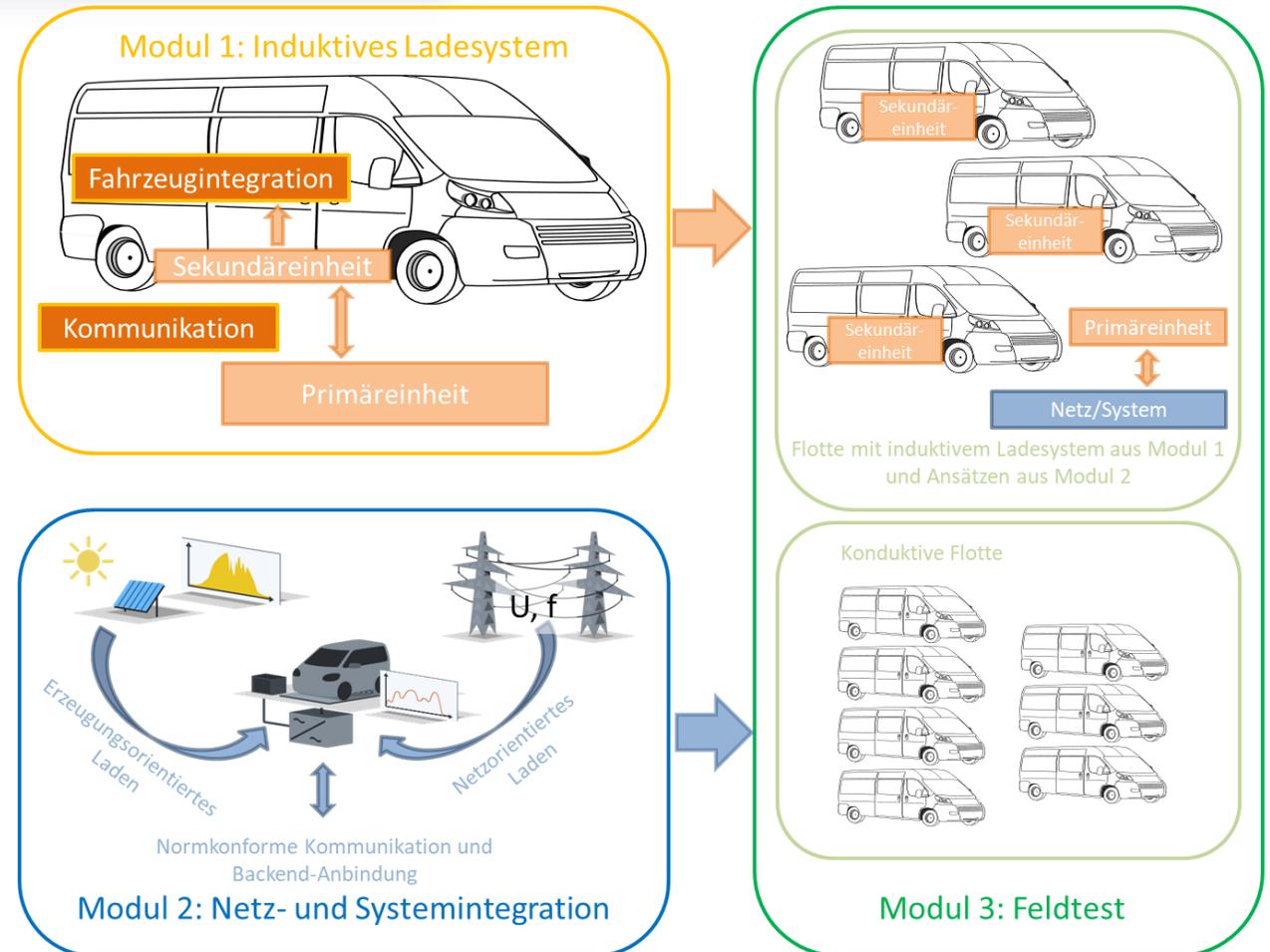


- **Einleitung und Projektziele**
- Entwicklung und Test eines induktiven Ladesystems
- Konduktiver Feldtest
- Erzeugungs- und netzorientierte Ladekonzepte
- Induktiver Feldtest
- Fazit und Ausblick

Einleitung

Projektüberblick LISA4CL

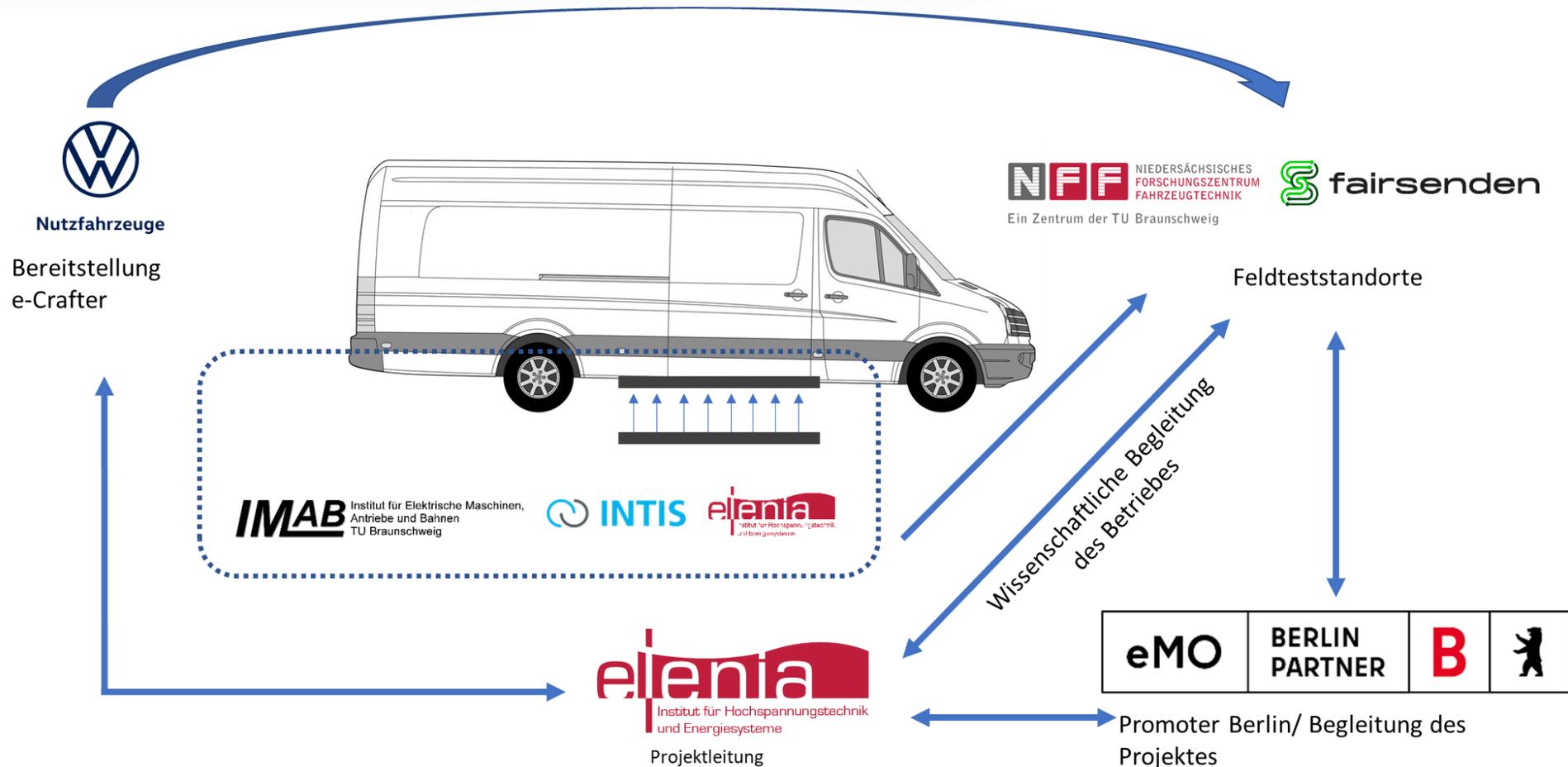
- Entwicklung schnellladefähiges, induktives Ladesystem mit 22 kW Ladeleistung für den Anwendungsfall City-Logistik
- Entwicklung von intelligenten Ladekonzepten für die Integration von Ladesystemen in das Stromnetz
- Erprobung des Ladesystems in einem Feldtest



© TU Braunschweig, elenia

Einleitung

Schnittstellen der Projektpartner

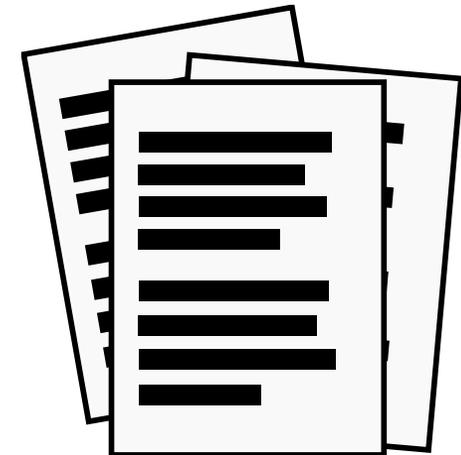
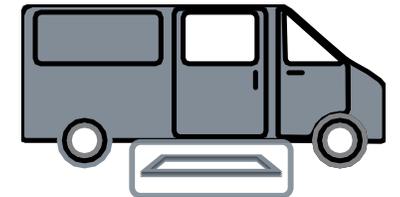


Projektziele

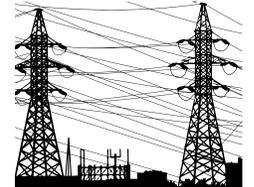
Induktives Laden



- Induktives Ladesystem mit hohem Wirkungsgrad (vergleichbar zum konduktiven Laden)
- Praxistauglichkeit von induktiven Ladesystemen zeigen, speziell für den Anwendungsfall City-Logistik
- Beleg der Vorteile von induktivem Laden in der Praxisanwendung
- Unterstützung bei der Normung von induktiven Ladesystemen bis 22 kW
- Handlungsempfehlungen



- Geeignete Maßnahmen zur Netzstützung beim Laden von Elektrofahrzeugen bereitstellen
- Methoden zur Integration erneuerbarer Energien beim Laden definieren
- Möglichkeiten für einen ökonomischen und ökologischen Betrieb von Elektrofahrzeugflotten
- Praxistauglichkeit von netzorientierten Ladekonzepten aus technischer Sicht
- Praxistauglichkeit der Systemintegration von induktivem Laden (vergleichbar zum konduktiven Laden)





- Einleitung und Projektziele
- **Entwicklung und Test eines induktiven Ladesystems**
- Konduktiver Feldtest
- Erzeugungs- und netzorientierte Ladekonzepte
- Induktiver Feldtest
- Fazit und Ausblick

Systementwicklung

Vorgehen beim Entwicklungsprozess



Ausgangslage:
Vollelektrisches Lieferfahrzeug
im Serienzustand



Konzeptionierung

Komponenten- und Prototypenentwicklung

Test und Iteration von System und
Komponenten

Fahrzeugausrüstung

Erprobung und Zulassung

Feldtesteinsatz und Auswertung

Entwicklungsziel:
Induktivladefähiges Versuchsfahrzeug
mit passender Ladestation



Technische Anforderungen

- 22 kW Ladeleistung mit 85 kHz Übertragungsfrequenz
- Interoperabilität (Anlehnung an die IEC 61980)
- Toleranz gegenüber Versatz- und Luftspaltvariation
- Wirkungsgrad so hoch wie möglich
- Erfüllen der EMV-Anforderungen

Erweiterte Anforderungen

- Kleinstmögliche Eingriffe in die Fahrzeugelektrik bzw. -elektronik
- Induktiv-Konduktiv-Umschaltung
- Berücksichtigung baulicher Anforderungen für den Feldtest
- Räumliche Trennung zwischen Wechselrichter und Primärspule

Weitere Funktionen

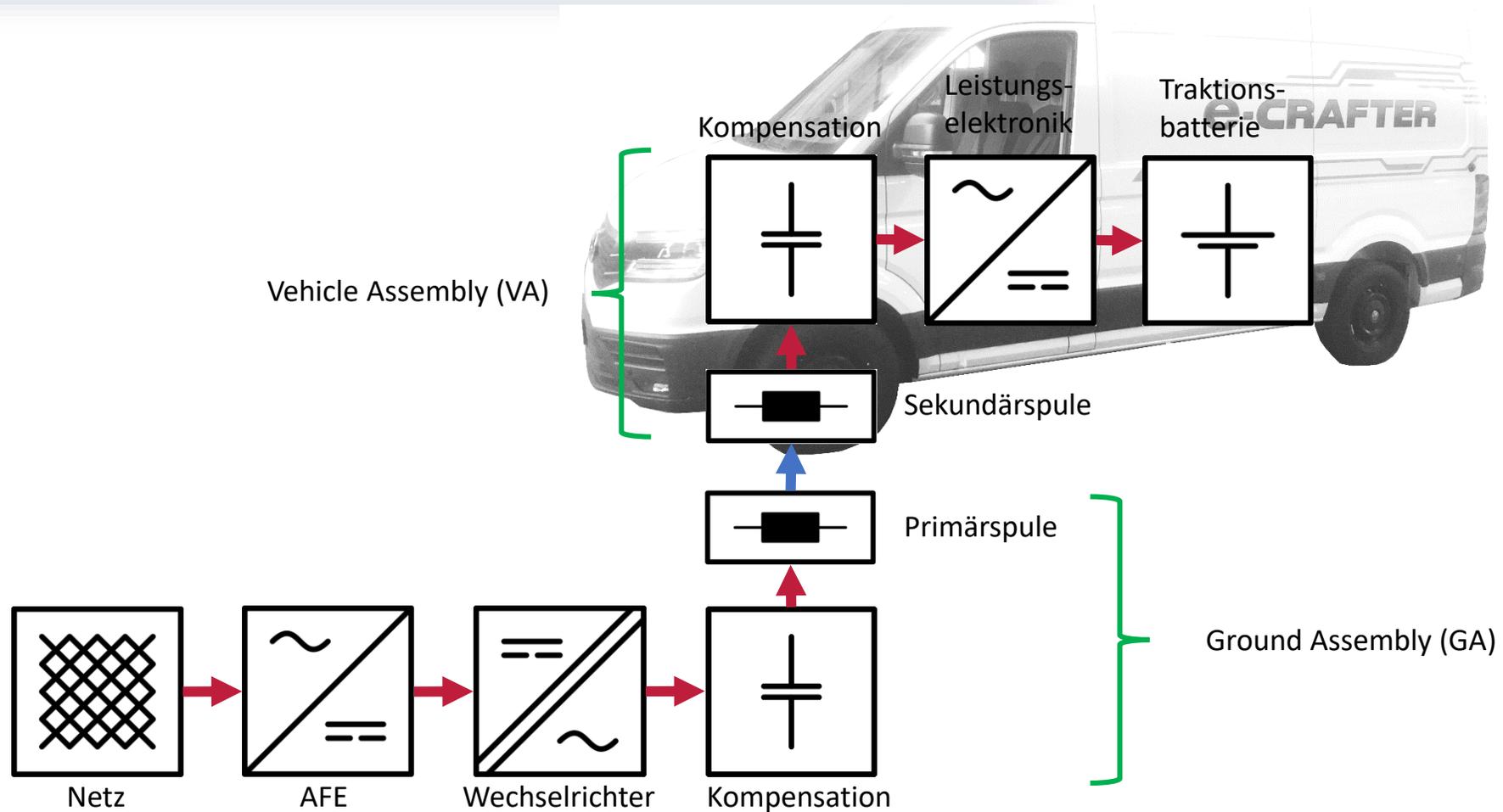
- Benutzerschnittstelle
- Netzanbindung (AFE)
- Drahtloskommunikation zwischen Fahrzeug und Ladestation

Sicherheitskonzept

- Aufstellen eines übergeordneten Sicherheitskonzepts
- Einhaltung der zulässigen Grenzwerte
- Lebend- und Fremdoobjekterkennung
- Keine sicherheitsrelevante Kommunikation zwischen Primär- und Sekundärseite

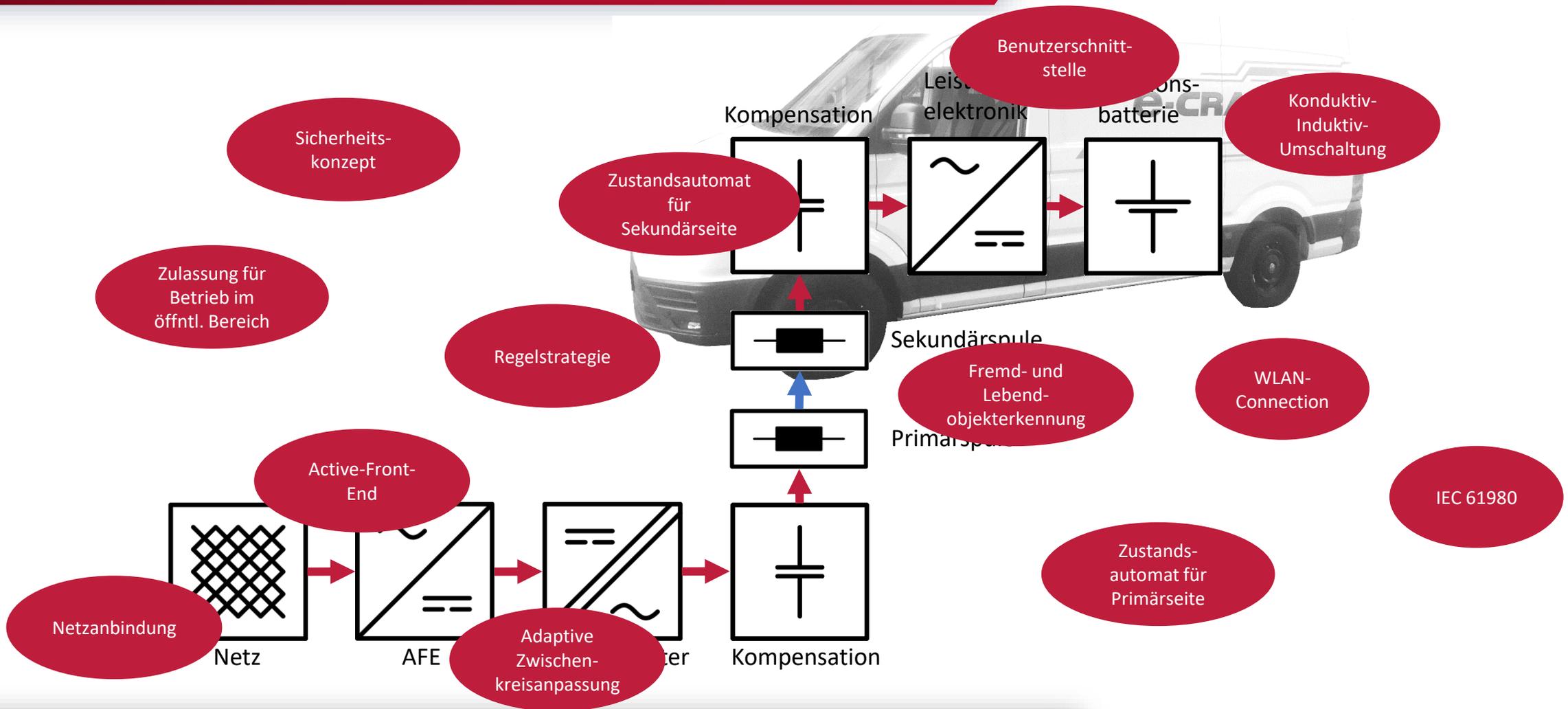
Systementwicklung

Blockschaltbild



Systementwicklung

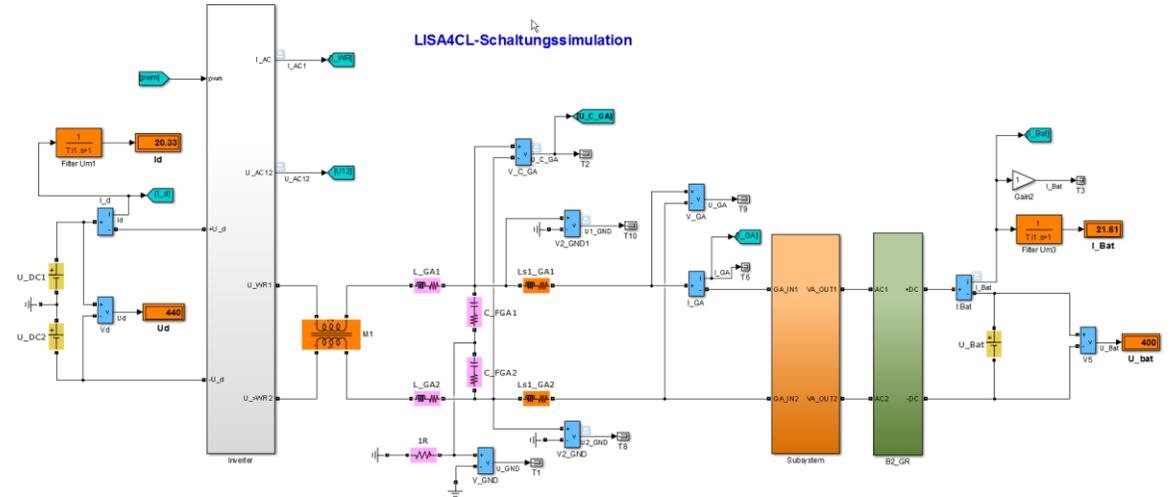
Blockschaltbild



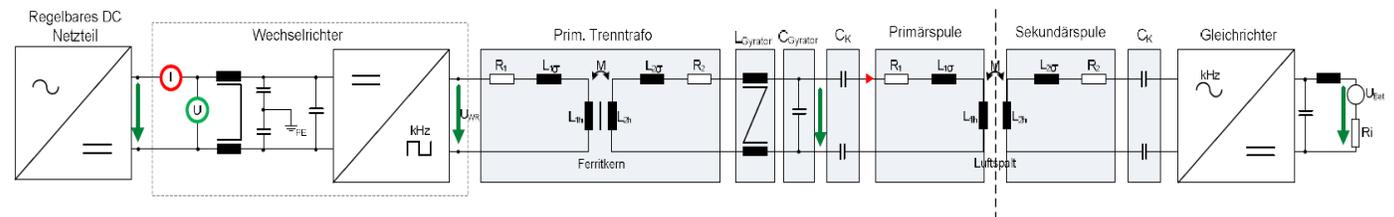
Systementwicklung

Gesamtkonzept

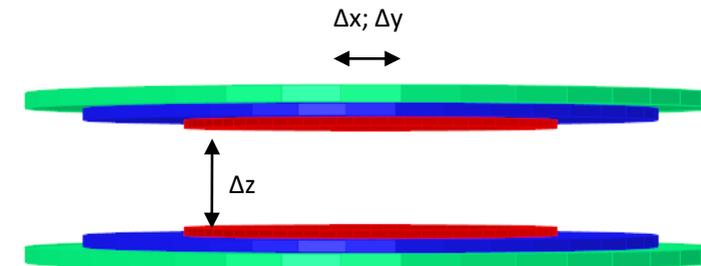
- Vergleich gängiger Schaltungskonzepte und bestehender Lösungen
- Berücksichtigung der Besonderheiten
 - Hohe Versatztoleranz
 - Lange Zuleitung zur Primärspule
- Auswahl einer Topologie mit zusätzlichem Resonanzkreis zwischen Wechselrichter und Primärspule
 - Speisung der Primärspule mit Sinusgrößen (Strom und Spannung)
 - Reduzierung von EMV- und Ableitstromproblemen



Schaltungssimulation zur Beurteilung der Gesamtfunktion

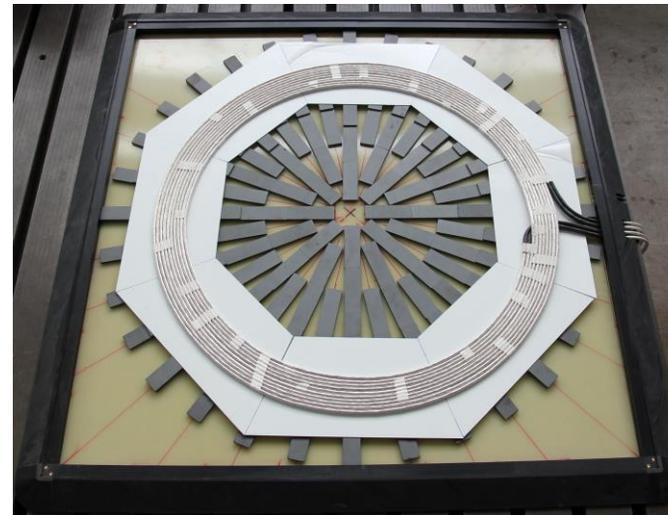
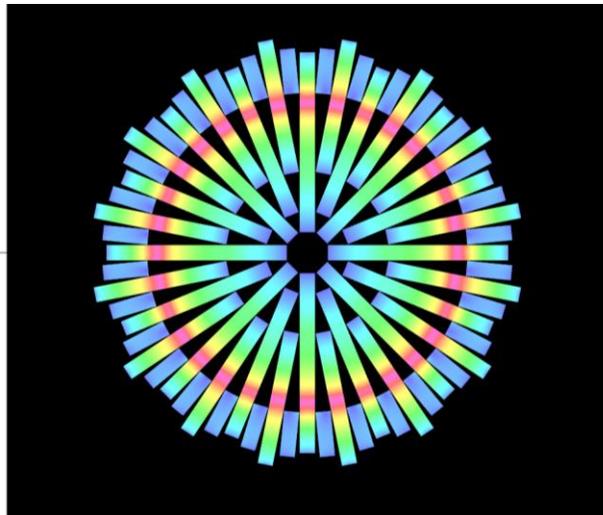
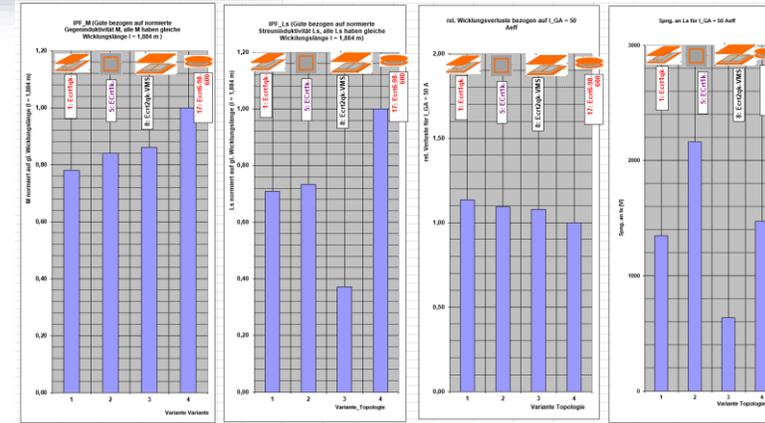
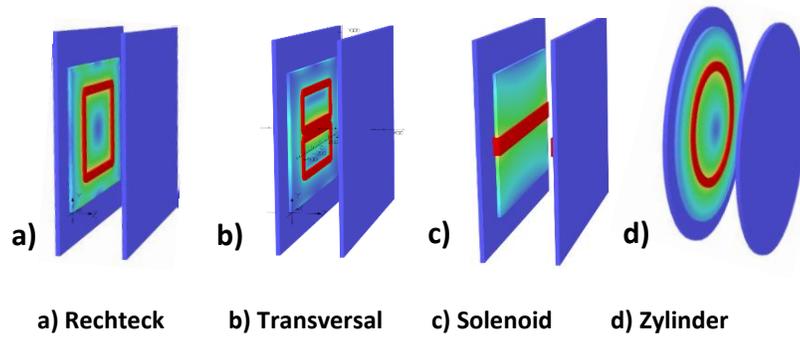


- Gewünschte Systemanforderungen
 - Zulässiger Versatz bei voller Leistung $\Delta x = \pm 75$ mm; $\Delta y = \pm 100$ mm
 - Luftspalt zwischen Ladepad und Fahrzeugunterboden ca. 175 mm (beladungsabhängig)
 - In Berlin kein bodenebener Einbau möglich, Primärspule muss als Aufbaulösung ausgeführt werden
 - Anpassung an die fahrzeugseitigen Gegebenheiten (Mechanik und Elektrik)
 - Einbindung der notwendigen Peripheriefunktionen
- Auswahlkriterien
 - Wirkungsgrad
 - Verhältnis von Streu- und Koppelinduktivität
 - Magnetische Flussdichte $|B|$ in 1m Entfernung
 - Verhalten bei Versatz- und Luftspaltänderungen
 - Interoperabilität



Systementwicklung

Entwicklungsprozess des Spulensystems



- Anforderungen
 - Luftkühlung, wartungsarmer Aufbau
 - Einhaltung der EMV-Grenzwerte (gestrahlt und leitungsgebunden)
 - Betrieb abseits Resonanzpunkt möglich
 - Optimiert auf hohen Wirkungsgrad (Schaltfrequenz: 85 kHz)
- Ausführung
 - Leistungshalbleiter vollständig in SiC-Technologie
 - DC-Eingang für Anbindung der AFE
 - Kopplung mit DC-DC-Wandler zur Zwischenkreisspannungsanpassung wurde erprobt, in den betrachteten Betriebspunkten ohne Wirkungsgradvorteil

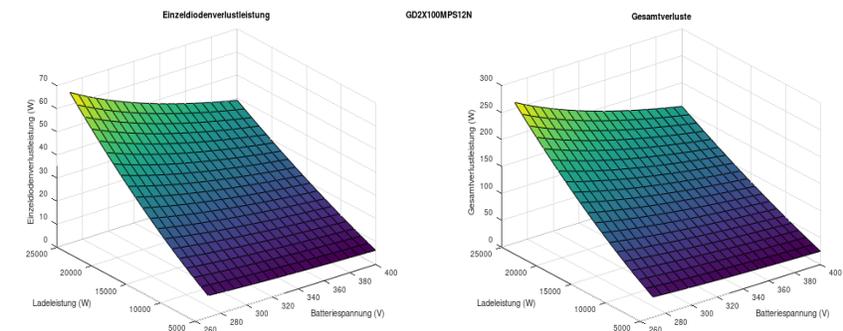
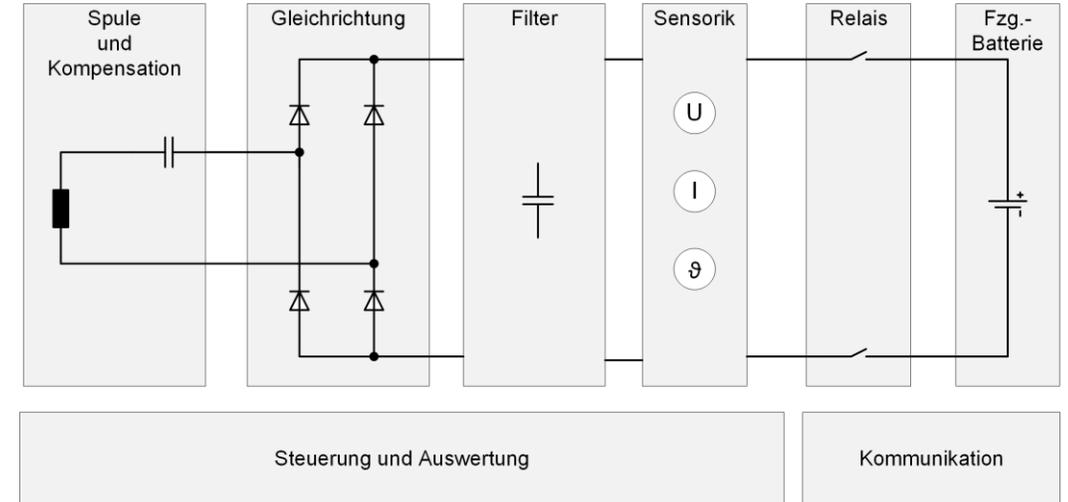


Notwendiger Funktionsumfang:

- Gleichrichtung und Glättung der induzierten Spannung
- Zu- und Freischalten des Ladesystems gegenüber der Fahrzeugbatterie
- Mess- und Überwachungsfunktion für elektrische und thermische Größen
- Kommunikation mit den übrigen Komponenten im Fahrzeug
- Versorgen von Peripheriefunktionen und Baugruppen

Entwicklungsprozess:

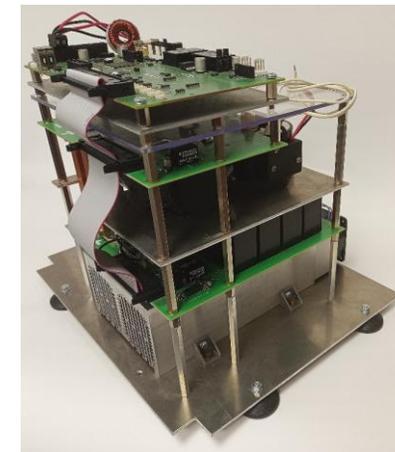
- Auslegung und Verlustanalyse geeigneter Halbleiter und passiver Bauelemente
- Entwicklung der notwendigen Steuerungs- und Messelektronik
- Anpassung an die baulichen und elektrischen Gegebenheiten im Fahrzeug



- Erprobung
 - Überprüfen der Funktionalität und der thermischen Stabilität
 - Erste Wirkungsgradmessungen bestätigen die Auslegung (rechnerische Effizienz > 98%)
 - Peripheriefunktionen implementiert und Kommunikation umgesetzt
- Weiterentwicklung
 - Anpassen der Bauform an den zwischenzeitlich geänderten Einbauort
 - Integration der Umschaltungsfunktion für Konduktiv-Induktiv-Umschaltung



Erster Prototyp für Prüfstandversuche



Überarbeitete Baugruppe für Einbau in fahrzeugseitigen Komponententräger

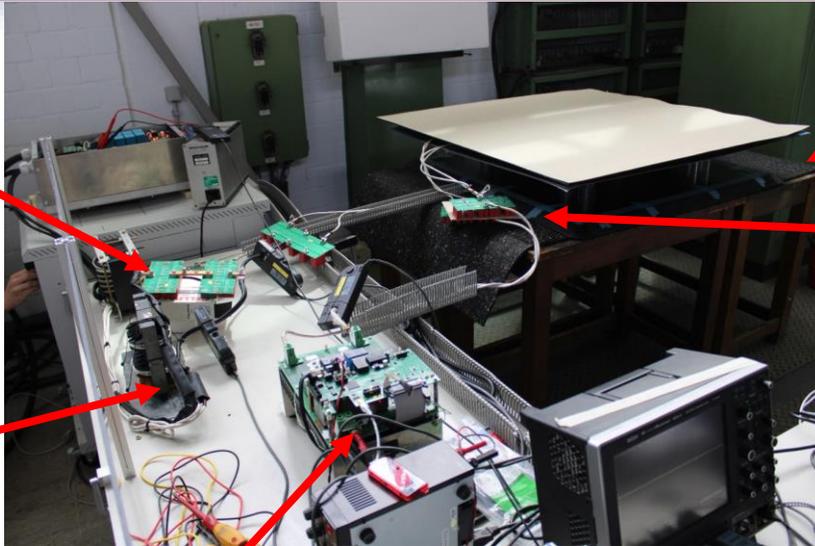
Systementwicklung

Prüfstandsversuche und Iteration

Prim.
Wechselrichter

Prim.
Resonanzkreis

Sekundär-
gleichrichter



TU Braunschweig

Übertrager

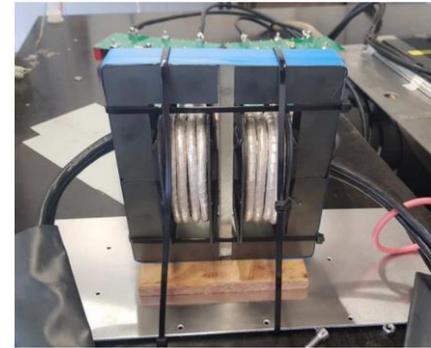
Sekundär-
Kompensation



INTIS Lathen

Erste Versuche mit den Labormustern zur Verifikation des Systemverhaltens

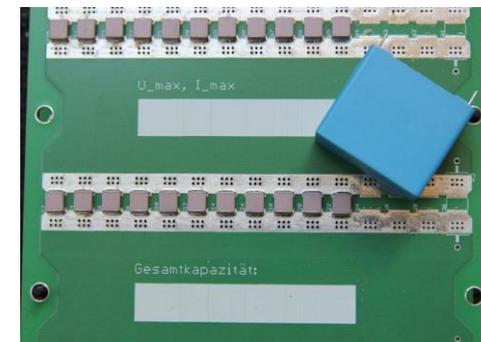
- Weiterentwicklung aller Komponenten basierend auf den Ergebnissen der ersten Gesamtsystemversuche
- Anpassung der Baugruppen für den Fahrzeugeinsatz
- Entwicklung der Software und Ausarbeitung eines Komponentenübergreifenden Zustandsautomaten



Iteration der Resonanzkreis
-bauelemente



Thermische Analysen



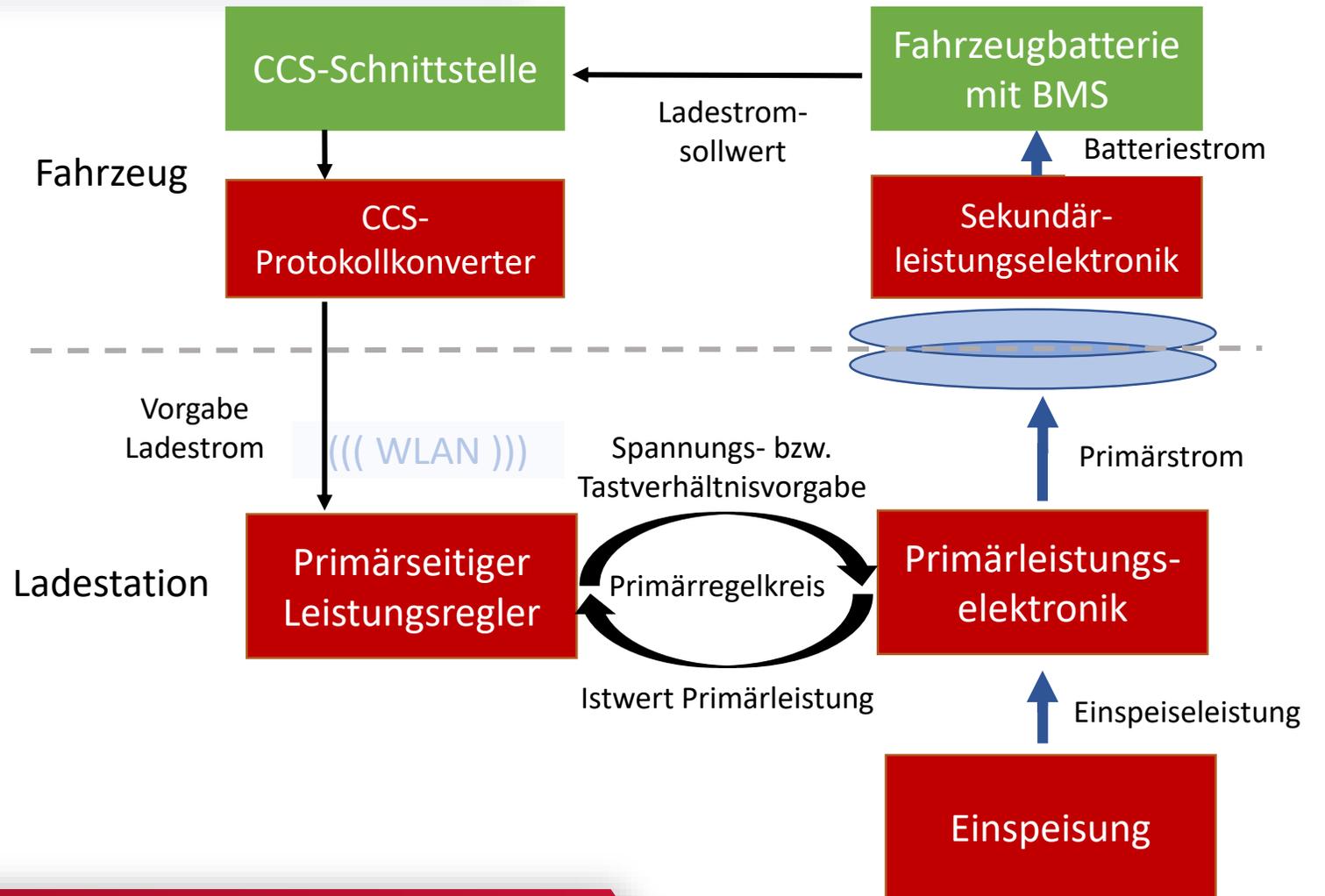
Auswahl verlustoptimierter
Kondensatorstechnologien

Systementwicklung

Regelungskonzept



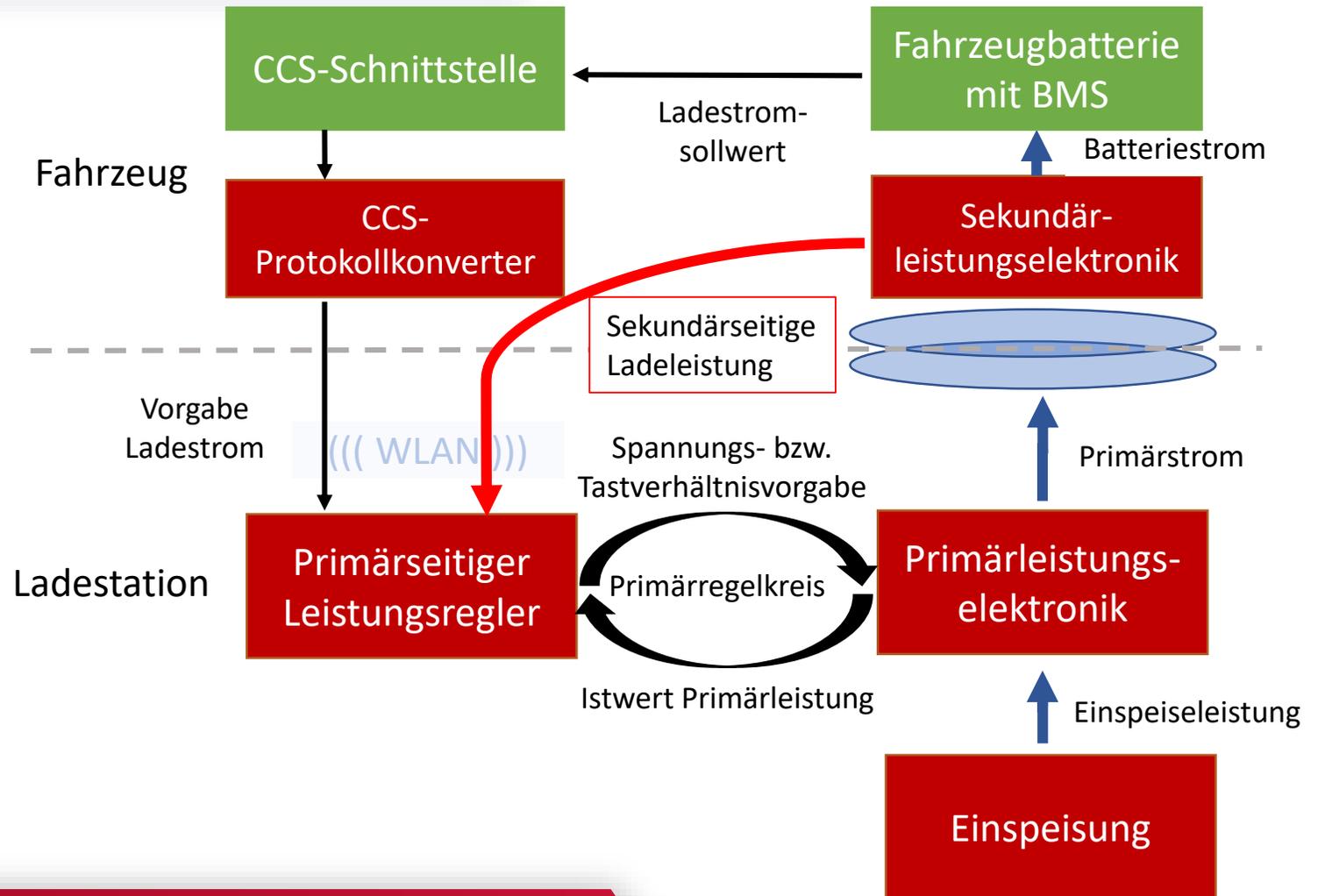
- Leistungsregelung erfolgt nur primärseitig
- Vorgabe der Ladeleistung durch das Fahrzeug über CCS
- Primärseitige Überwachung der übertragenden Ladeleistung
- Schnellabschaltung bei plötzlichen Leistungssprüngen oder übermäßigen Abweichungen (Fehlerfallüberwachung)
- Es wird keine sicherheitsrelevante Kommunikation zum Fahrzeug benötigt



Systementwicklung

Regelungskonzept

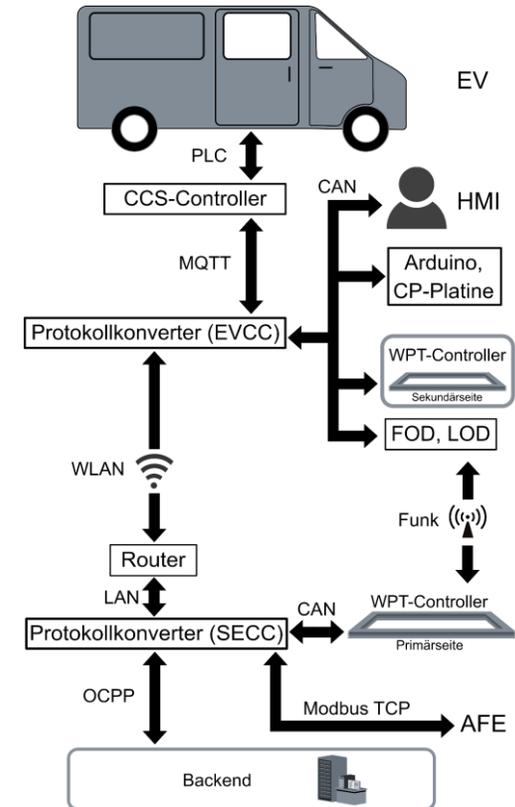
- Zusätzlich Rückführung der sekundärseitig gemessenen Leistung
- Ausgleich der Wirkungsgradkette im Übertragungssystem
($P_{\text{Batterie}} < P_{\text{Primärseite}}$)
- Geforderte Ladeleistung kann somit per primärseitiger Regelung auf der Sekundärseite eingeregelt werden



Ganzheitliche Integration Kommunikationsstandard Kommunikationsinfrastruktur



- Entwicklung der Hardware und Software für die Umsetzung
- WLAN-Kommunikation zwischen Primär- und Sekundärseite in Anlehnung an ISO 15118-8
- Kommunikationsablauf SECC und EVCC: Anlehnung an ISO 15118-20 und IEC 61980-2
- WPT-Controller regeln die Leistungselektronik des Ladesystems
- CAN-Bus als zentrale Kommunikationsschnittstelle von Steuergeräten auf Primär- und Sekundärseite → Realisierung CAN-Datenbank



AFE: Active Front End
 EVCC: Electric Vehicle Communication Controller
 FOD / LOD: Foreign / Living Object Detection
 PLC: Powerline Communication
 SECC: Supply Equipment Charging Controller
 WPT: Wireless Power Transfer

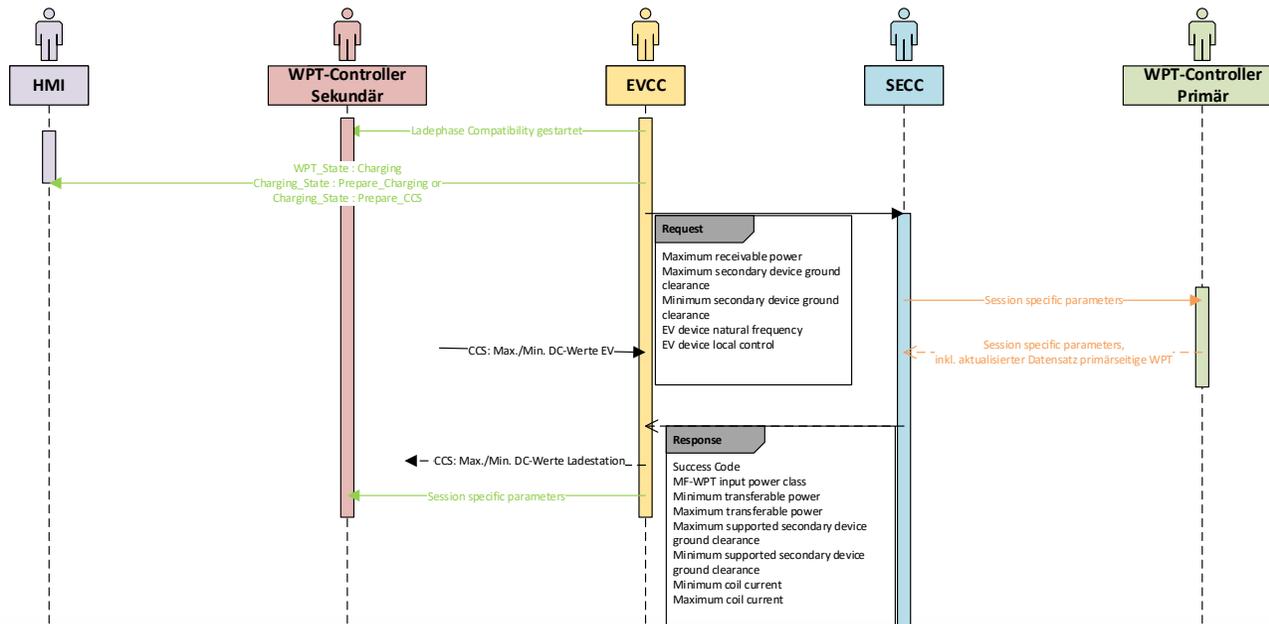
Name	Message	Multiplexing/...	Startbit	Leng...	Byte Order	Value Type	Initial Value	Factor	Offset	Mini...	Maxi...	Unit
WPTCP_Req_CMD	WPT_Controller_PRI_Request	-	0	8	Intel	Unsigned	0	1	0	0	255	
WPTCP_Req_Voltage_SP	WPT_Controller_PRI_Request	-	8	16	Intel	Unsigned	0	1	0	0	65535	
WPTCP_Req_Current_SP	WPT_Controller_PRI_Request	-	24	8	Intel	Unsigned	0	1	0	0	255	
WPTCP_Req_Act_Voltage	WPT_Controller_PRI_Request	-	32	16	Intel	Unsigned	0	1	0	0	65535	V
WPTCP_Req_Act_Current	WPT_Controller_PRI_Request	-	48	8	Intel	Unsigned	0	1	0	0	255	A
WPTCP_Req_RC	WPT_Controller_PRI_Request	-	56	8	Intel	Unsigned	0	1	0	0	255	

Ganzheitliche Integration Kommunikationsstandard

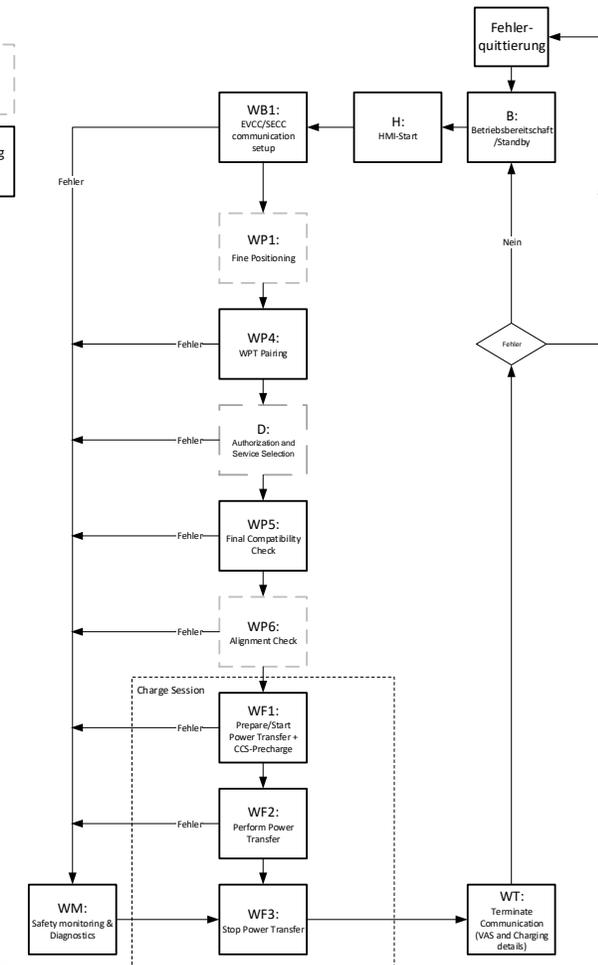
Ablaufplan und Zustandsautomat



- Ablaufplan Ladevorgang auf Basis ISO 15118-20 und IEC 61980-2
- Unterteilung eines Ladevorgangs in einzelne Ladephasen
- Definition des Datenaustauschs der Steuergeräte in den Ladephasen mittels eines Zustandsautomaten
- Fehlererkennung und Umsetzung von Maßnahmen im Fehlerfall berücksichtigt



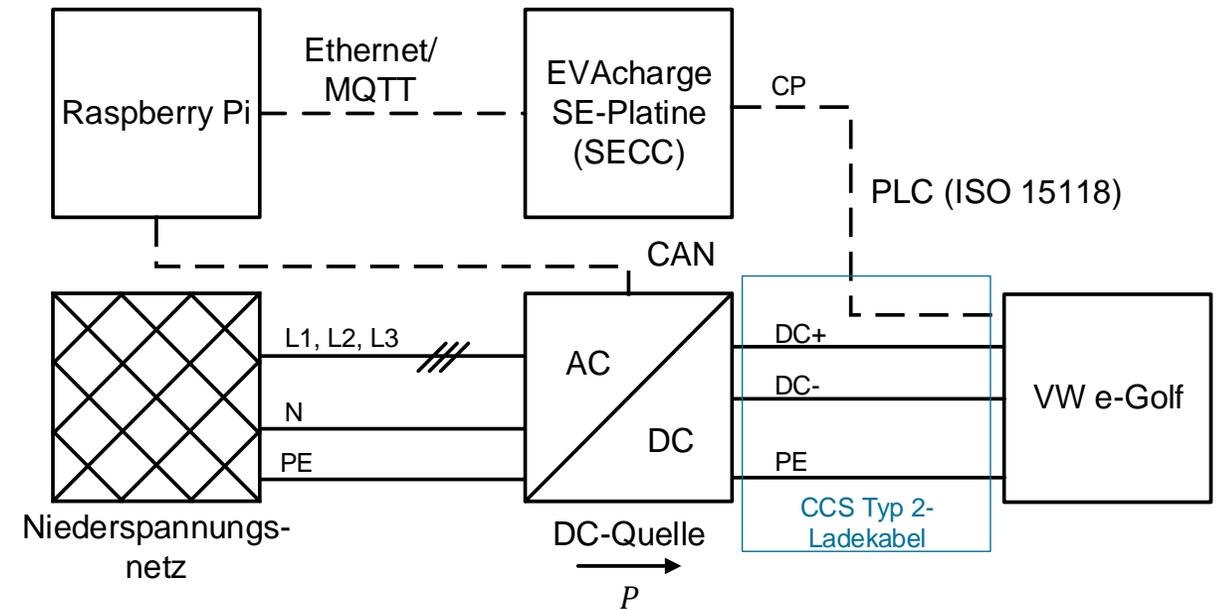
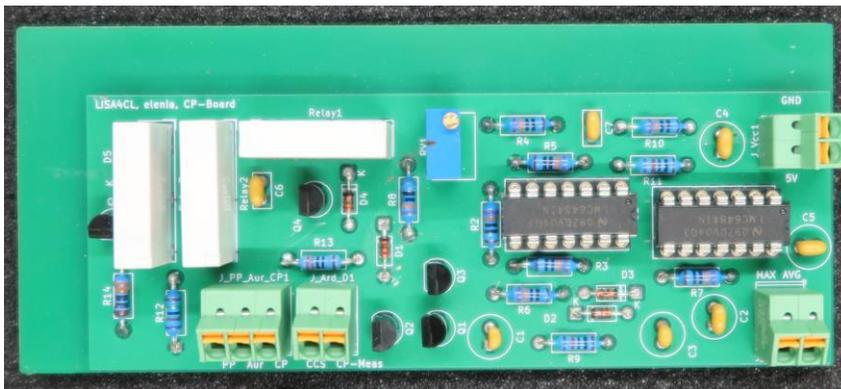
Legende:



Anbindung an die Fahrzeugarchitektur

Ladekommunikation und Leistungspfad

- Nutzung der CCS-Schnittstelle (leistungstechnisch, kommunikativ)
- Erprobung Konzept für Kommunikation zum Fahrzeug im Labor
- AC- und DC-Laden im e-Crafter weiterhin möglich
- Realisierung Umschaltfunktion DC-Laden und induktives Laden
- Entwicklung Platine für Erkennung AC- und DC-Ladevorgänge sowie Zuschaltung Kommunikationspfad für induktives Laden



Legende:

- Signalleitung
- Energieleitung

- CP: Control Pilot
- PLC: Powerline Communication
- SECC: Supply Equipment Charging Controller

Ganzheitliche Integration Kommunikationsstandard Nutzerschnittstellen



- HMI im Fahrzeug als Nutzerschnittstelle (Starten/Stoppen Ladevorgang, Positionsassistent, Anzeige Ladedaten)
- Anbindung an zentrales Managementsystem
- Lokaler Webserver

Standorte & Ladepunkte
LISA4CL-induktiv | Induktive Ladestation | IL00001-1

Abgeschlossene Ladevorgänge

Beginn	Ende	Verbrauchte Energie	Details
16.02.2023 16:15	16.02.2023 16:15	0.09 kWh	Details
16.02.2023 16:20	16.02.2023 16:20	0.09 kWh	Details
16.02.2023 17:16	16.02.2023 17:16	0.2 kWh	Details
16.02.2023 17:18	16.02.2023 17:20	0.7 kWh	Details
16.02.2023 17:23	16.02.2023 17:24	0.7 kWh	Details
17.02.2023 11:07	17.02.2023 11:07	0.2 kWh	Details
17.02.2023 11:09	17.02.2023 11:09	0.2 kWh	Details
17.02.2023 11:15	17.02.2023 11:18	0.917 kWh	Details
17.02.2023 11:24	17.02.2023 11:29	0.918 kWh	Details
17.02.2023 12:45	17.02.2023 12:50	0.918 kWh	Details
19.02.2023 11:03	19.02.2023 11:08	1.836 kWh	Details

Verfügbar
STATUS

Zuletzt gesehen: 25.07.2024 15:25

Aktionen
Informationen zu Aktionen, die am Ladepunkt aufgetreten sind.

- Ladevorgang starten
- Ladevorgang beenden
- Stecker entriegeln
- Cache löschen
- Steuergerät zurücksetzen

Ladepunkt
Technische Informationen zum Ladepunkt

Standort

Name	LISA4CL-induktiv
ID	lisa4cl-induktiv
Mandant	Elenia

INTIS LISA4CL Monitoring Contact Imprint
Reload in: 8 Minutes!

Status

Overview

Charging Power [kW]

Time [s]

Primary System (ID): (21) Lisa4CL Berlin

Vehicle (ID): (121) VW E-Crafter

actual Station Errorcode: (0) No Error

Station Exitcode: (0) No Error

Vehicle Exitcode: (0) No Error

Last Charge: 04.09.2024 - 13:44 (SoC: 76 %)

Status

Charging

State of Charge: 77 %

transferred Energy: 4181 Wh

elapsed Charge Time: 00:11:27

rem. Charge Time: 00:25:00

Charge Power: 22400 W

Battery Voltage: 350 V

Charge Current: 64 A

Faultflags

- Bit 1
- Bit 2
- Bit 3
- Bit 4
- Bit 5
- Bit 6
- Bit 7
- Bit 8

Faultflags ext.

- Bit 1
- Bit 2
- Bit 3
- Bit 4
- Bit 5
- Bit 6
- Bit 7
- Bit 8

Prototypenausrüstung

Bauräume und Befestigung der Sekundärspule



Serienmäßiger
Fahrzeugunterboden
ohne Verkleidung



Schirmbleche und
Halteklammern für
Spulenhalter



Fertig montierter
Spulenhalter

Prototypenausrüstung

Sekundärseitige Baugruppe

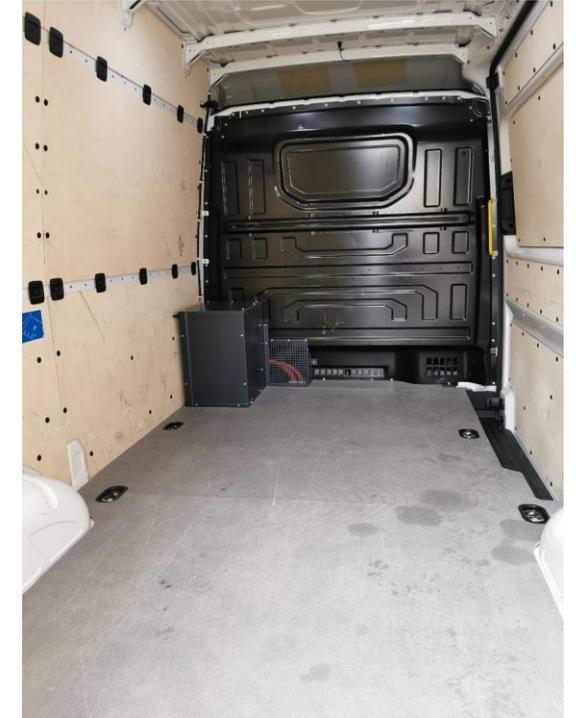
Für die Sekundärbaugruppe existieren mehrere Anbauoptionen:

- Am Fahrzeugunterboden (keine Einschränkung des nutzbaren Laderaums)
- Im Laderaum (bessere Zugänglichkeit im Servicefall und für Messungen)

Für das Versuchsfahrzeug wurde die Variante mit besserer Zugänglichkeit gewählt. In größeren Serien ist die Montage am Unterboden zu bevorzugen.



Möglicher Bauraum am Unterboden



Gewählte Lösung im Laderaum

Prototypenausrüstung

Fertiges Versuchsfahrzeug



Sekundärleistungs-
elektronik und
Kommunikationstechnik



Benutzer-
schnittstelle



Sekundärspule



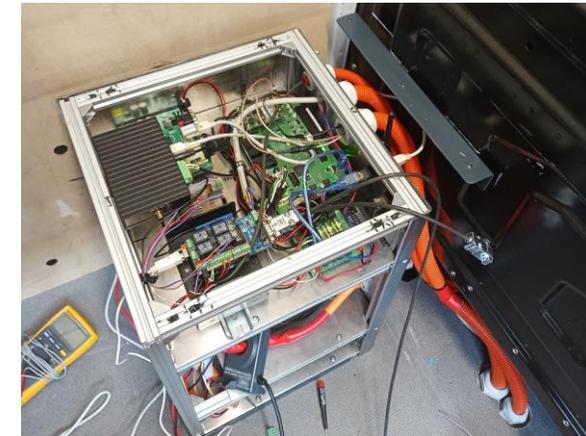
Primärelektronik

Primärspule

Inbetriebnahme und Tests

Überprüfung und Abnahme des Systems

- Erstellung eines umfangreichen Testkatalogs für Überprüfung der Funktionen und Verhalten in Fehlerfällen
- Tests für alle aufgestellten Fehlerfälle erfolgreich durchgeführt
- Mechanische Festigkeit und Wasserdichtigkeit praktisch (u.a. durch Schlechtwegeerprobungen) überprüft
- Schnellabschaltung bei plötzlichen Leistungssprüngen oder übermäßigen Abweichungen (Fehlerfallüberwachung)
- Vorführung des fertigen Fahrzeugs im Konsortium und Abnahme durch VW-Nutzfahrzeuge, Eintragung der Umbauten und Zulassung
- Fahrzeug als einsatzbereit eingestuft und in den Feldtest überstellt



Funktionsprüfungen an der eingebauten Sekundärbaugruppe



Anlieferung des fertigen Fahrzeugs zur Abnahme und Zulassung

Abschlusspräsentation LISA4CL

Inhaltsverzeichnis



- Einleitung und Projektziele
- Entwicklung und Test eines induktiven Ladesystems
- **Konduktiver Feldtest**
- Erzeugungs- und netzorientierte Ladekonzepte
- Induktiver Feldtest
- Fazit und Ausblick

Konduktiver Feldtest

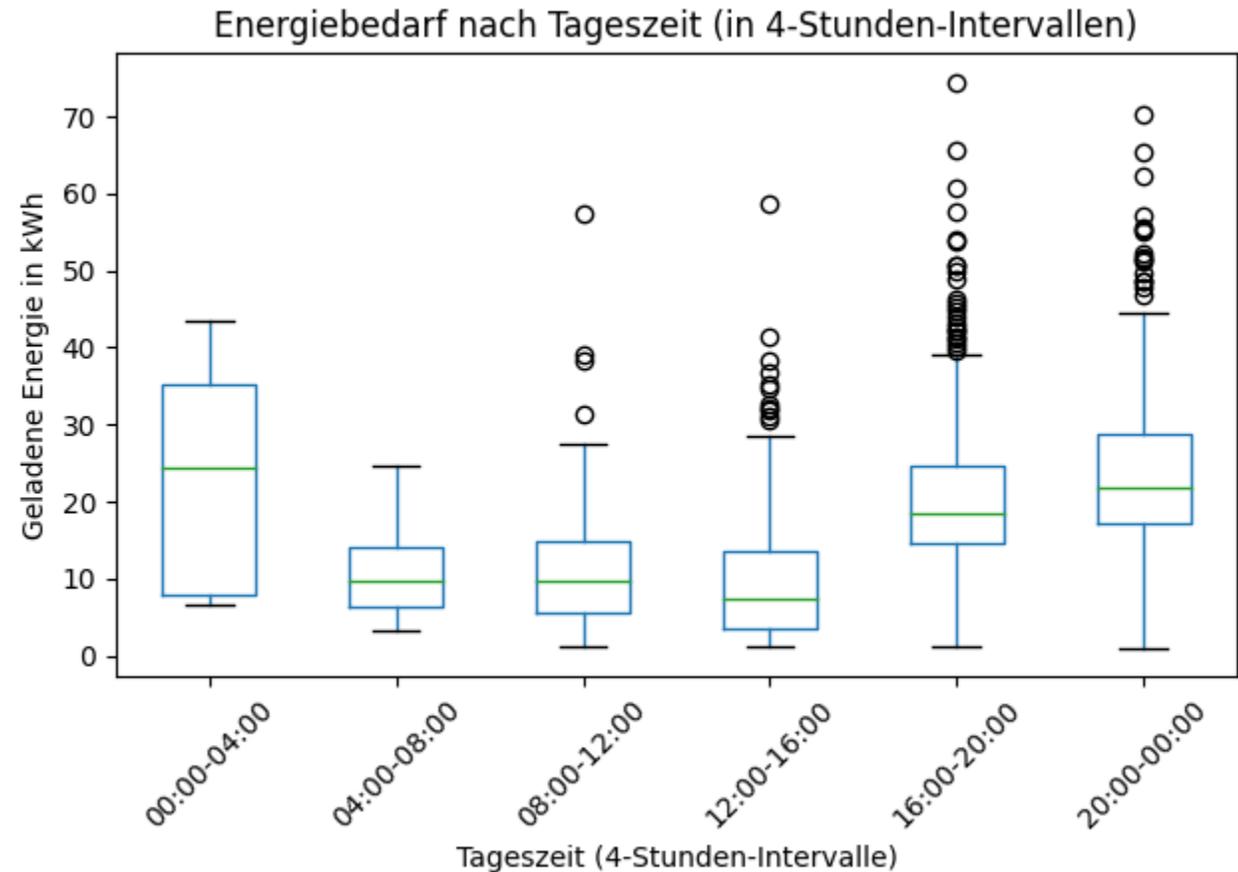
Randparameter des Feldtests

- Wurde vom 7.9.2022 bis zum 21.11.2023 durchgeführt am Fairsenden Standort in Berlin
- Insgesamt 6 Fahrzeuge im Einsatz
 - 3 Nissan eNV-200 (40 kWh Batteriegröße, 6,6 kW Ladeleistung)
 - 2 Opel e-Vivaro (75 kWh, 11 kW)
 - 1 Ford eTransit (77 kWh, 11 kW)
- 6 Ladepunkte davon 4 mit dem Backend verbunden
- Zusätzlich Messgeräte zum Vermessen des Standortes und der 2 separaten Ladepunkte



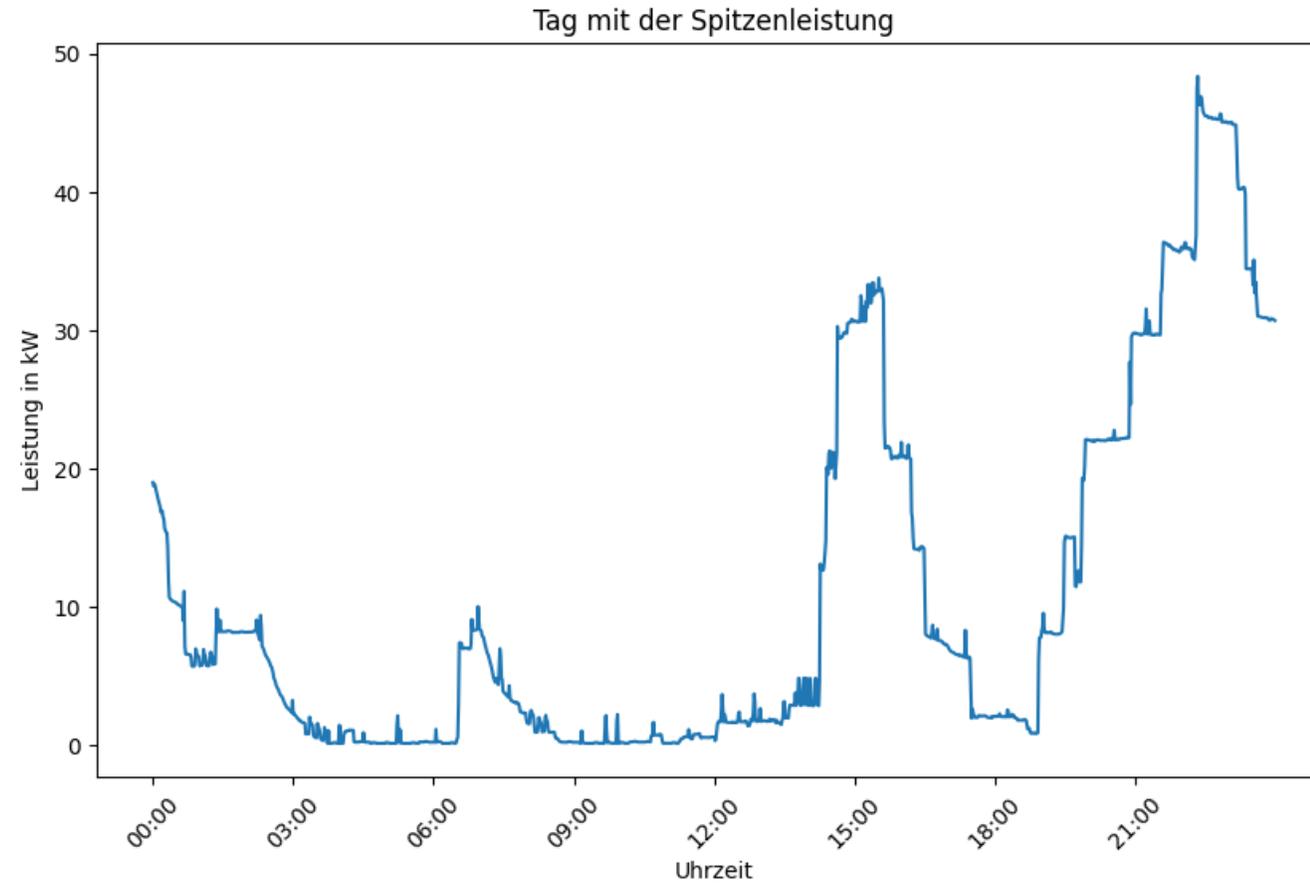
Quellen: Fairsenden, ev-database, MeinAuto, Ford

- Abhängig vom Startzeitpunkt des Ladevorgangs hat die Ladeenergie sehr variiert
- In der Gruppe von 08-12 Uhr und in der Gruppe von 12-16 Uhr waren viele Ladevorgänge unter 100 Minuten zu finden
- Auffälligkeiten bei der Spannungsqualität des Stromnetzes konnten nicht auf Elektrofahrzeuge zurückgeführt werden
- Gemessene Spitzenleistung von 48,39 kW maßgeblich durch die Elektrofahrzeuge verursacht



Konduktiver Feldtest

Spitzenleistungstag





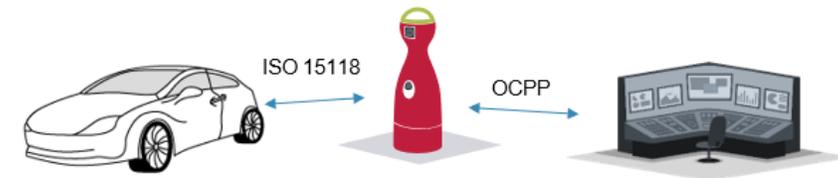
- Einleitung und Projektziele
- Entwicklung und Test eines induktiven Ladesystems
- Konduktiver Feldtest
- **Erzeugungs- und netzorientierte Ladekonzepte**
- Induktiver Feldtest
- Fazit und Ausblick

Erzeugungorientiertes Laden von Elektrofahrzeugen

Unterschiedliche Aspekte wurden berücksichtigt



- Analyse der technischen Inputparameter auf Basis der Normen und deren Verfügbarkeit
 - Abfahrtszeitpunkt, Energiebedarf, Tourenplan
- Ermittlung der nutzbaren lokalen erneuerbaren Energien bzw. Ermittlung des Potentials auf Basis konduktiver Feldtest
 - Aktuell keine erneuerbare Erzeugung verfügbar
 - Photovoltaik lässt sich sinnvoll integrieren
 - Batteriespeicher kann sinnvolle Ergänzung sein
- Entwicklung Konzept auf Basis der lokalen Erzeugung
 - Vorausschende Nullpunktregelung des Netzanschlusses

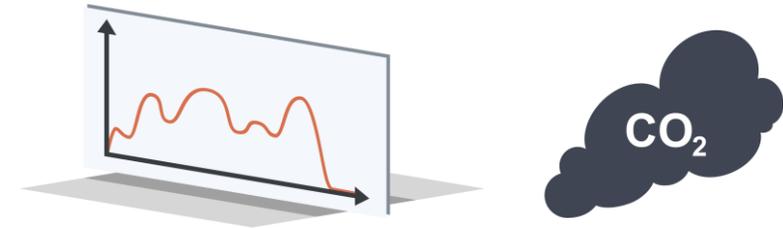


Erzeugungorientiertes Laden von Elektrofahrzeugen

Unterschiedliche Aspekte wurden berücksichtigt



- Entwicklung von Preismodellen auf Basis zentraler erneuerbarer Energien
 - EPEX-Spot, CO₂-Basiert, basierend auf lokaler Erzeugung
- Entwicklung Konzepts für die Versorgung aus zentralen erneuerbaren Energien
 - Preisgesteuertes Konzept
- Gesamtkonzept zum Laden der Elektrofahrzeuge
 - Kombination der Nullpunktregelung und des preisbasierten Konzepts
- Auswertung der unterschiedlichen Konzepte auf Basis der Daten des konduktiven Feldtests



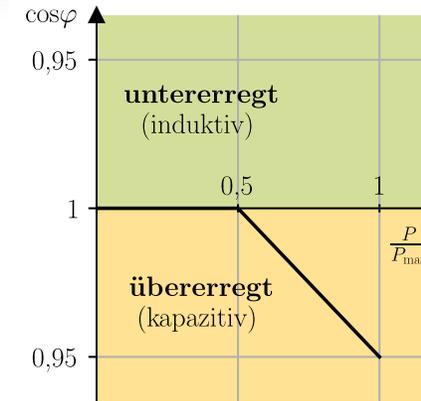
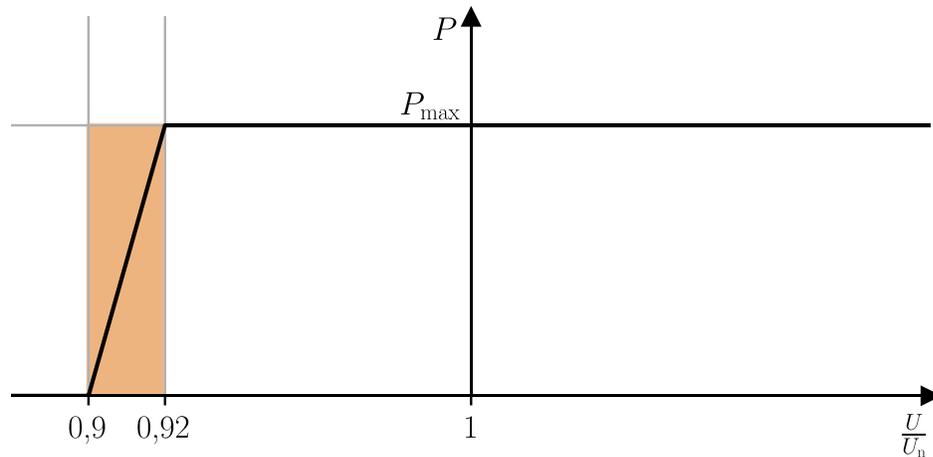
- Bei preisbasierten Ansätzen hohe Gleichzeitigkeit der Fahrzeuge und damit hohe Spitzenleistung
- Einführung eines Leistungslimits sinnvoll, um Netz zu entlasten
- Mit variablen Stromtarifen lassen sich Kosten sparen
 - Durch preisbasiertes Laden lassen sich 20 % gegenüber ungesteuertem Laden einsparen
 - Durch preisbasiertes Laden lassen sich 25 % gegenüber konventionellem Stromtarif einsparen
- Weiteres Einsparpotential durch eigene Stromproduktion vorhanden
- Leistungslimit von 25 kW am Netzanschlusspunkt (99,5 % der Zeitpunkte unterhalb des Punktes)
 - Erhöht die Kosten bei preisbasiertem Laden um weniger als 1 %
 - Sorgt für nicht komplettes Erfüllen des Energiebedarfs, 7 kWh konnten durch Leistungslimitierung nicht geladen werden
- CO2-basiertes Laden
 - Geringe Mehrkosten von knapp 4 %
 - Dadurch Reduktion der „Emissionen“ um weitere 4 % gegenüber den Emissionen des preisbasierten

Konzepte für netzorientiertes Laden

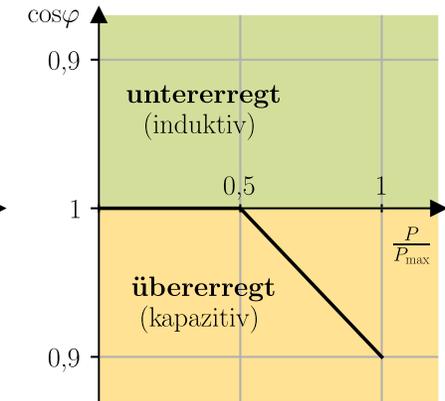
Statische Spannungshaltung, Spannungsunsymmetrie



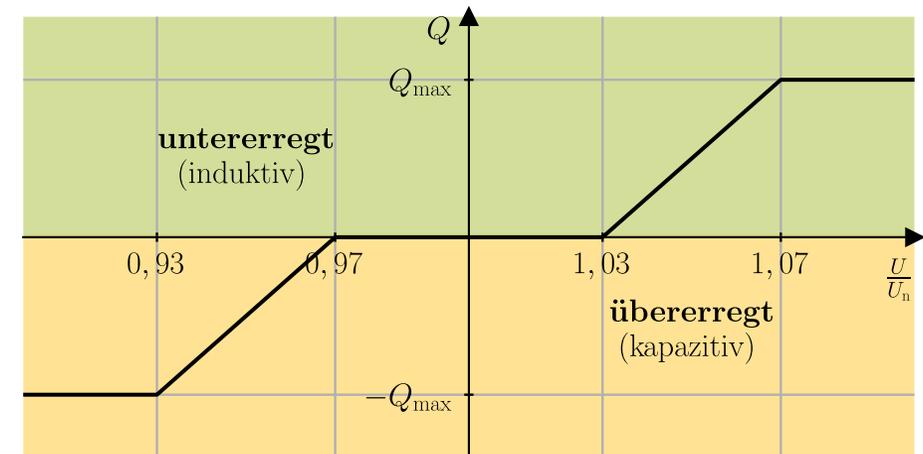
- $\cos\varphi$, $\cos\varphi(P)$, $P(U)$, $Q(U)$ und $P(U)\&Q(U)$ in Anlehnung an VDE-AR-N 4100 und 4105
- Eingangsparameter: Effektivwerte der Netzspannung, Wirkleistung der Ladeeinrichtung
- Symmetrische Anwendung bei dreiphasigen Laden untersucht
- Phasengenaue Anwendung der Methoden betrachtet (Leistung für jede Phase unabhängig regelbar)



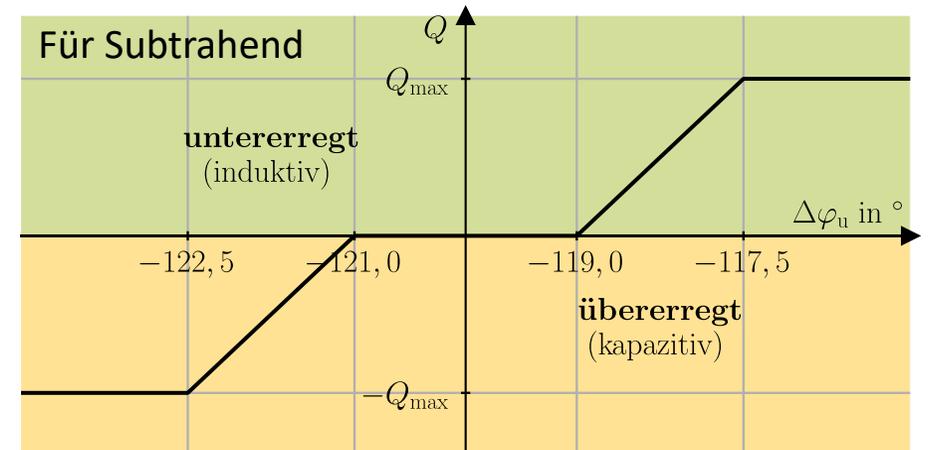
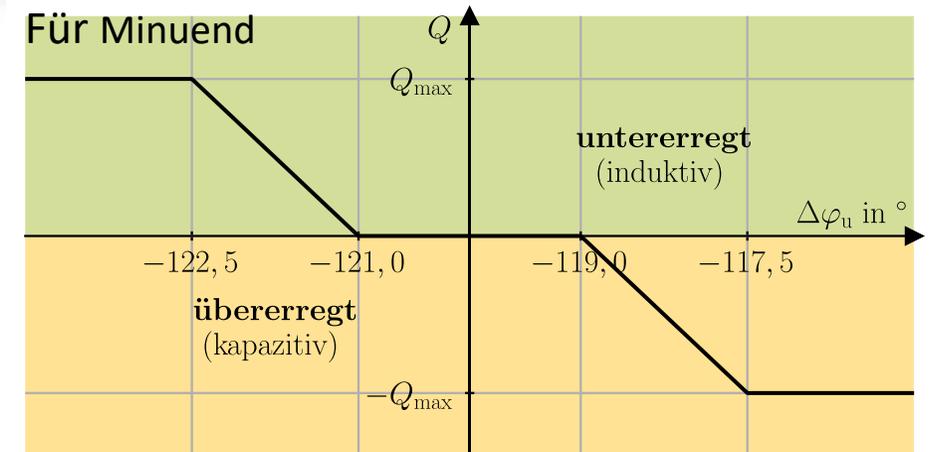
a) $S_{\max} \leq 4.6 \text{ kVA}$



b) $S_{\max} > 4.6 \text{ kVA}$



- $Q(\Delta\varphi_u)$ Blindleistungsbereitstellung in Abhängigkeit der Phasenverschiebung der Spannungen
- Eingangsparmeter: Phasenwinkel der Netzspannung
- Phasenwinkel eines Außenleiters ist bei Berechnung von zwei Phasenverschiebungen beteiligt
→ Zwei Kennlinien erforderlich
- Untererregtes Verhalten dreht Spannungszeige gegen Uhrzeigersinn, übererregtes Verhalten im Uhrzeigersinn

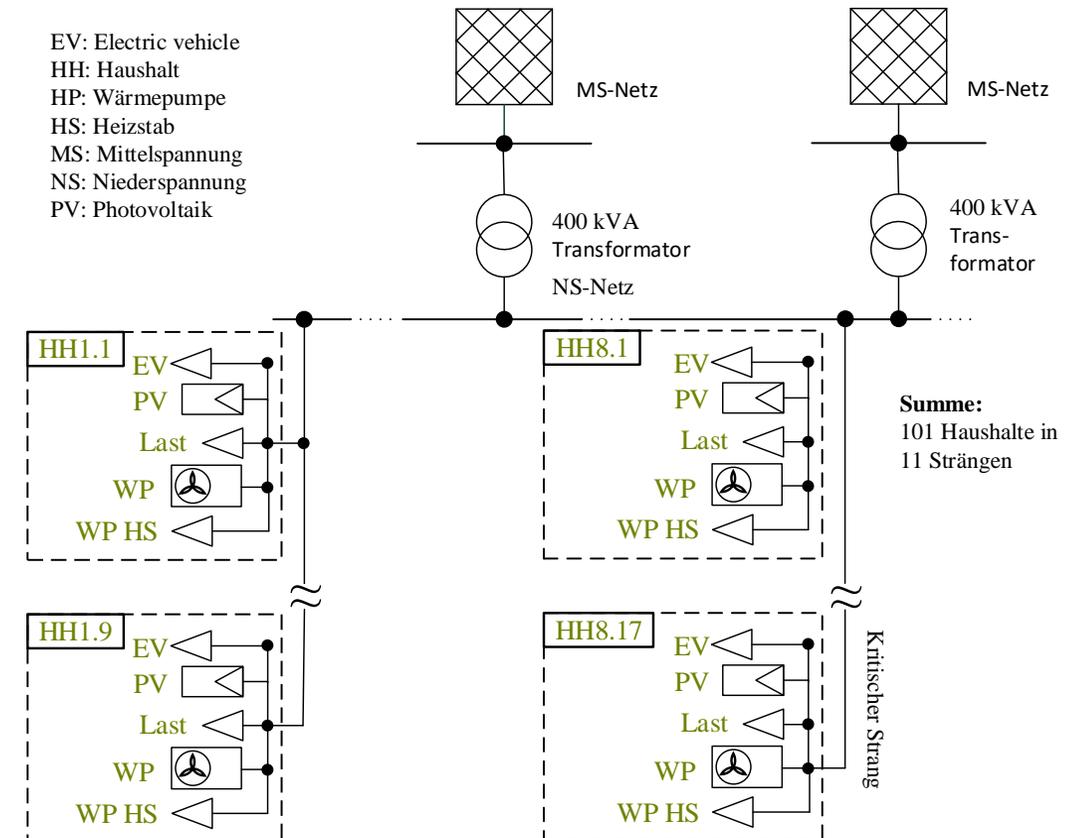


Konzepte für netzorientiertes Laden

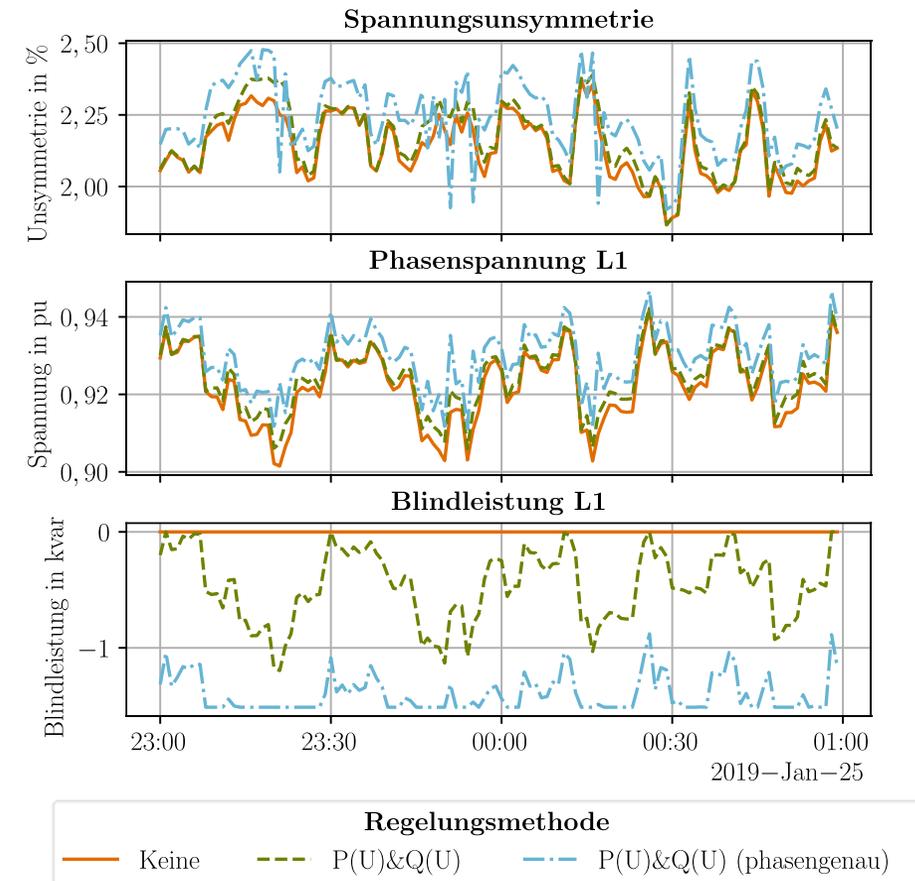
Simulative Untersuchungen: Modell

- Unsymmetrische quasidynamische Simulationen mit einem Benchmark-Netz (Nutzung DIgSILENT PowerFactory)
- Python-Modell entwickelt
 - Elektrofahrzeugmodell: Lastprofile, Regelungsmethoden
 - Netzmodell-Parametrierung
 - Automatisierung Simulationen
- Untersuchung verschiedener Szenarien

Durchdringung	Elektrofahrzeuge	PV-Anlagen	Wärmepumpen
Gering	20 %	20 %	20 %
Hoch	95 %	70 %	80 %
Maximal	100 %	100 %	100 %

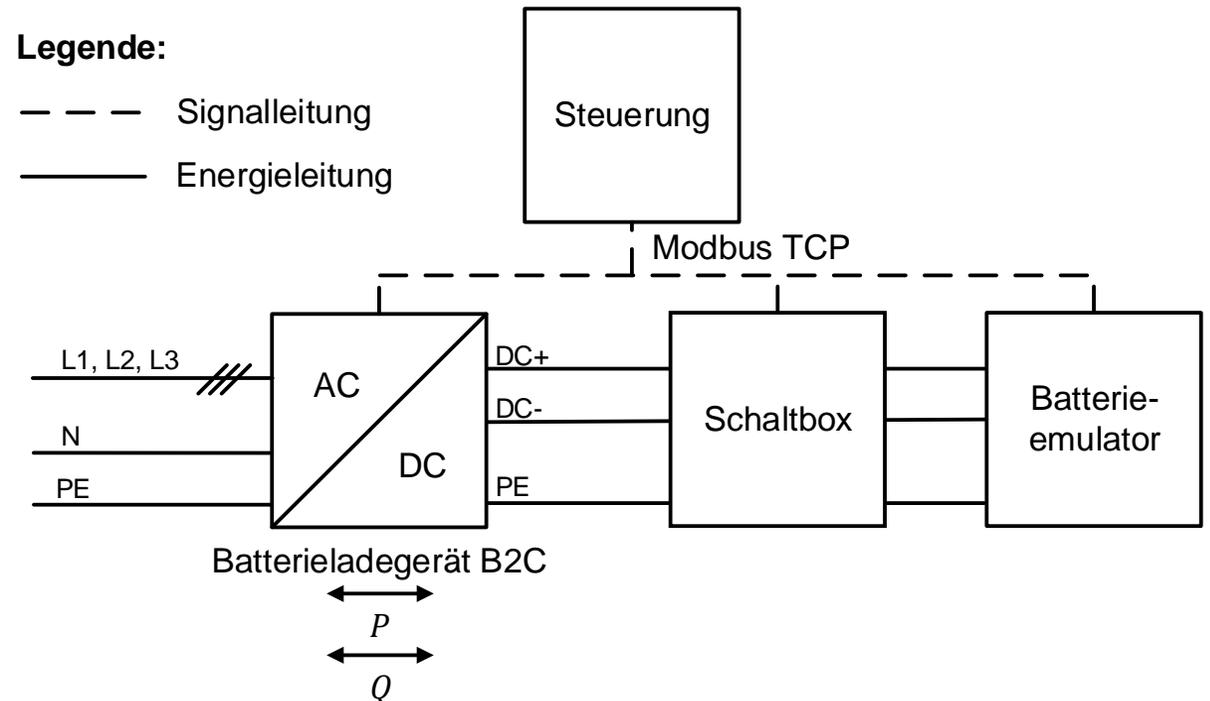


- Symmetrische und phasengenaue Methoden $P(U)$, $Q(U)$, $\cos\varphi$, $\cos\varphi(P)$ leisten netzstützenden Beitrag zur statischen Spannungshaltung
- Auswirkungen von phasengenaue Regelungen auf Spannungsunsymmetrie abhängig vom R/X-Verhältnis des Netzes
- Positiver Einfluss der phasengenaue $P(U)$ auf Spannungsunsymmetrie in ohmsch-induktiven Netzen ($R/X > 1$)
- Phasengenaue $Q(U)$, $\cos\varphi$, $\cos\varphi(P)$ können Spannungsunsymmetrie auch negativ beeinflussen in Netzen mit $R/X > 1$
- Einfluss einphasiges Laden auf Unsymmetrie ist hoch, dreiphasiges Laden hat geringen Einfluss



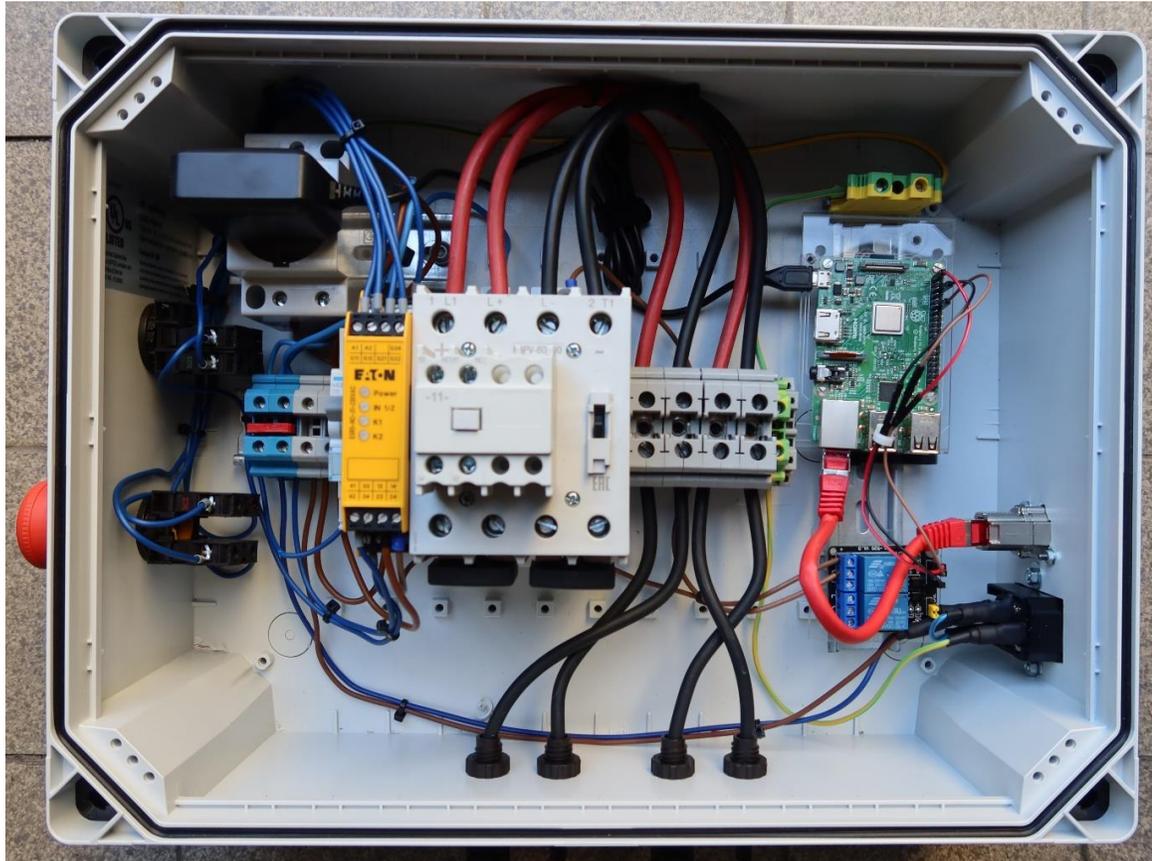
DC-Ladenachbildung:

- B2C: Bidirektionaler Umrichter der die Blindleistung am AP stellen kann
- Schaltbox: DC-Schütz mit ansteuerbarer automatischer Schaltung via Relais und Raspberry Pi
- Batterieemulator: Nachbildung der Fahrzeugbatterie durch Spannung/SoC – Kennlinie und Kapazitäts/Entladerate-Kennlinie
- Automatische Ansteuerung über Python-Skripte via Modbus



Laboruntersuchungen

Labora Aufbau DC-Laden



DC-Schaltbox

Channel	K Rec	Rec Threshold	R charge	R discharge
Global:	<input type="text" value="0,10"/>	<input type="text" value="75,00"/>	<input type="text" value="0,10"/>	<input type="text" value="0,10"/>
A:	<input type="text" value="0,10"/>	<input type="text" value="75,00"/>	<input type="text" value="0,10"/>	<input type="text" value="0,10"/>
B:	<input type="text" value="0,10"/>	<input type="text" value="75,00"/>	<input type="text" value="0,10"/>	<input type="text" value="0,10"/>
C:	<input type="text" value="0,10"/>	<input type="text" value="75,00"/>	<input type="text" value="0,10"/>	<input type="text" value="0,10"/>

Strings in serie: (Only in V VS SOC)

Strings in parallel: (Only in C VS I)

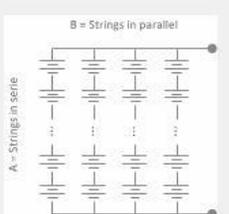
Constant time: (Only in C VS I)

V max (V):

V min (V):

I max (A):

Channel	SOC_Init
Global:	<input type="text" value="100,00"/>
A:	<input type="text" value="100,00"/>
B:	<input type="text" value="100,00"/>
C:	<input type="text" value="100,00"/>



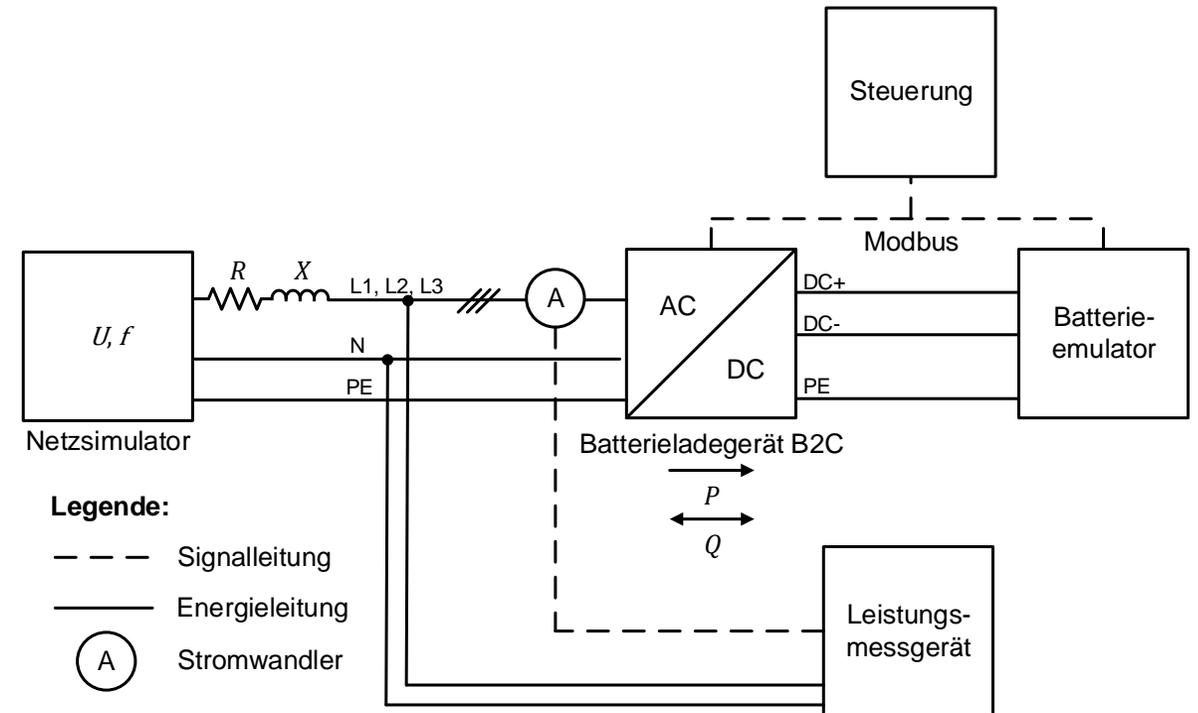
Steueroberfläche Batterieemulator

Laboruntersuchungen

Labora Aufbau DC-Laden

DC-Ladenachbildung am Netz:

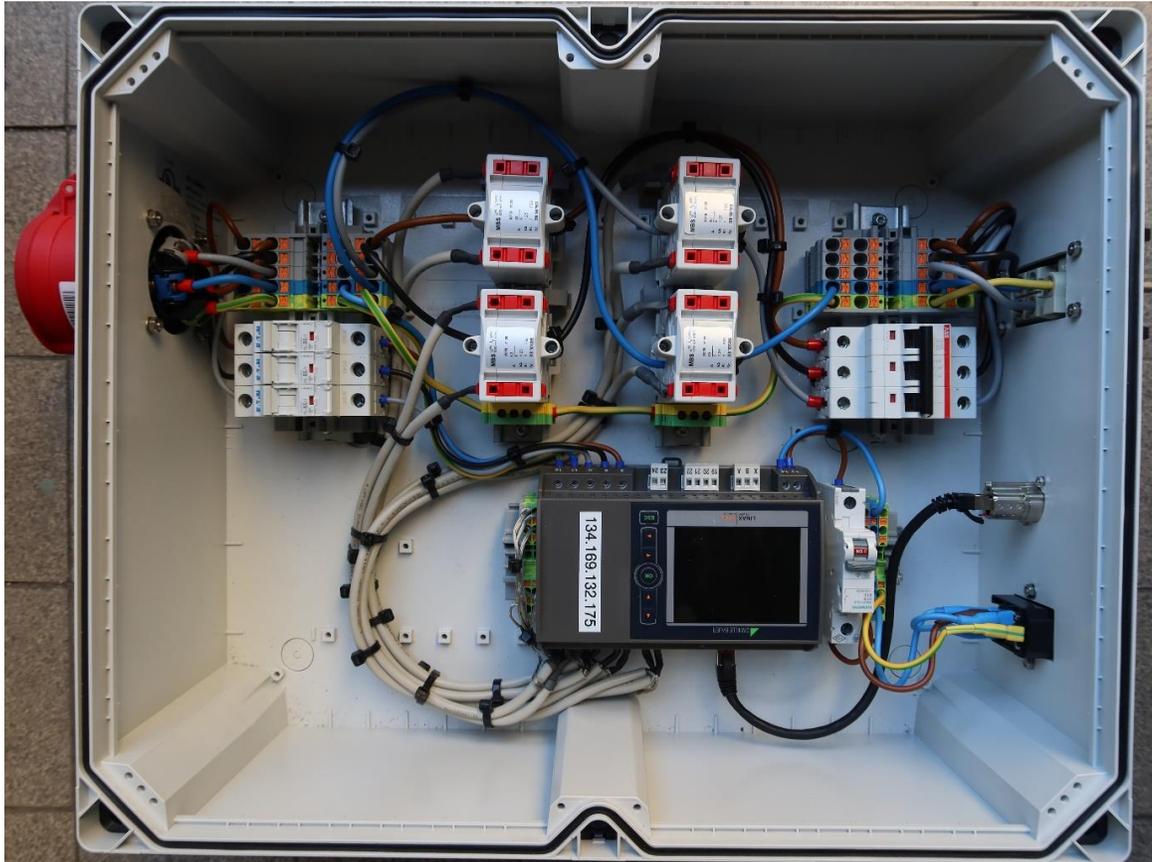
- Netzsimulator: Stellt Netzspannung und – frequenz
- Leitungsnachbildung ermöglicht Netzimpedanz (R, X)
- Leistungsmessgerät Linax PQ5000:
 - Messbox zur Messung der Phasenströme $i(t)$ und Netzspannungen $u(t)$
 - Verfügbarkeit von Netz- und Spannungsqualitätsparameter
 - Bereitstellung der gemessenen Daten via Modbus



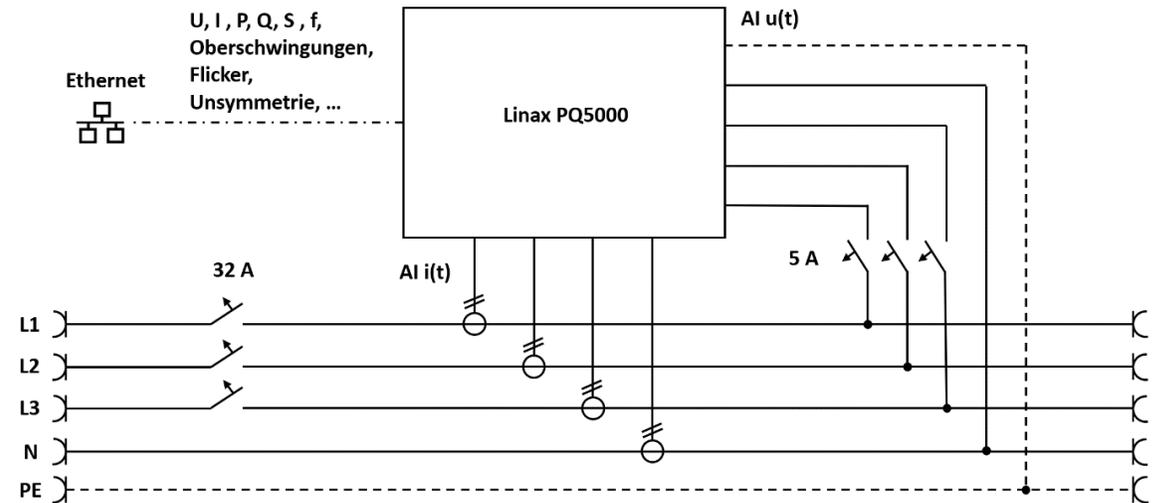
Netzorientierte Regelungen möglich

Laboruntersuchungen

Messbox für netzorientiertes Laden



Leistungsmessbox



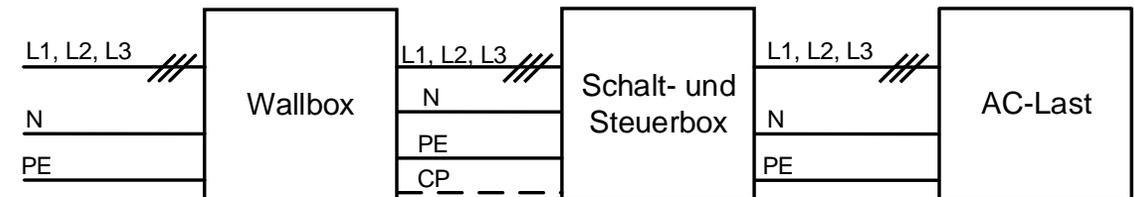
Messprinzip

AC-Ladenachbildung:

- Wallbox: Typ2-Stecker wird in das Fahrzeuginlet der Schalt- und Steuerbox gesteckt
- Schalt- und Steuerbox:
 - Normkonforme Kommunikation zur Wallbox via Ladecontroller-Platine der *chargebyte GmbH*
 - Auslesen des CAN-Busses der Platine via Raspberry Pi mit CAN-Erweiterungsboard:
 - Eingriff in den Ladevorgang
 - Ansteuerung der AC-Last via Modbus

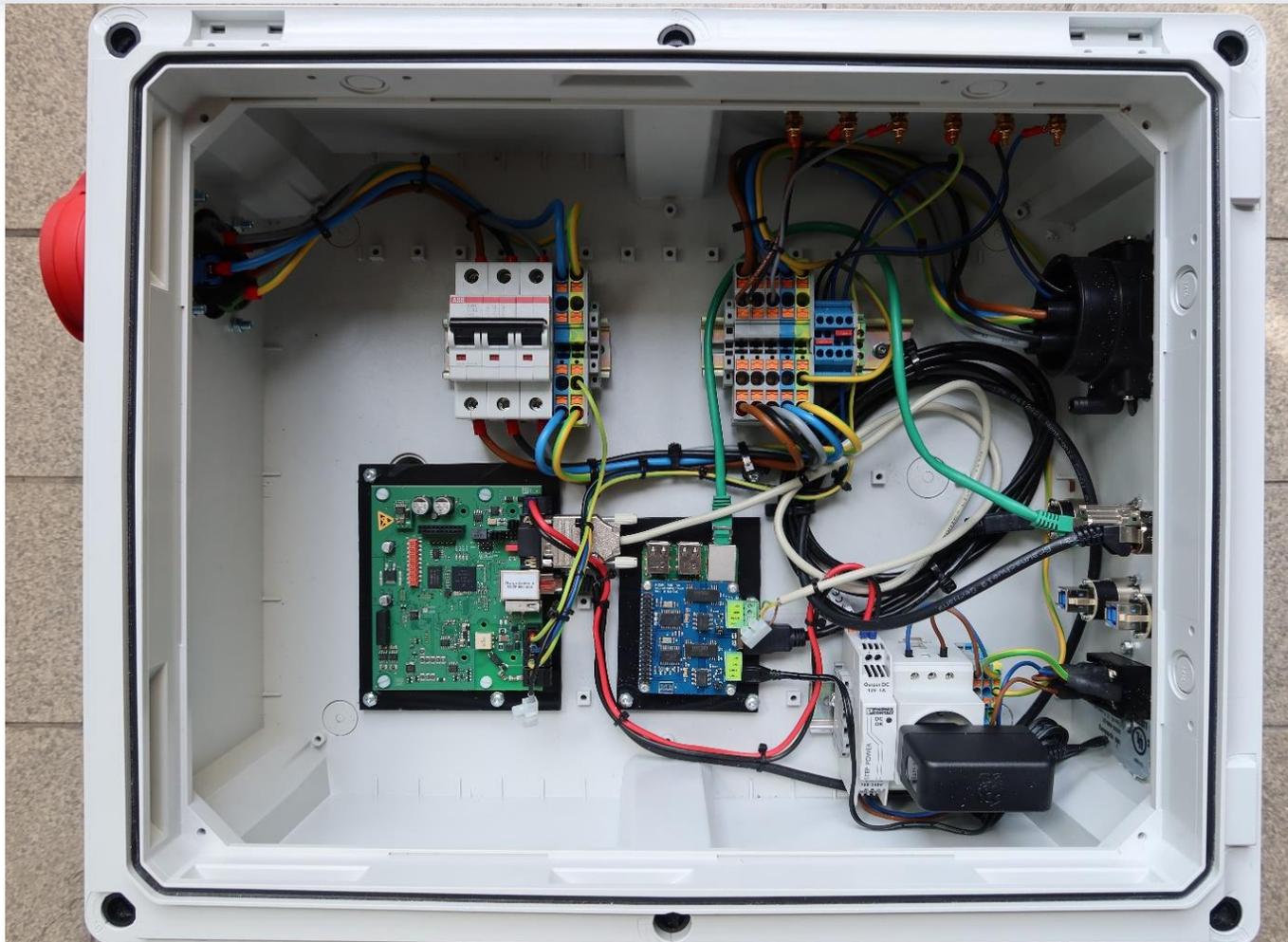
Legende:

- Signalleitung
- Energieleitung



Laboruntersuchungen

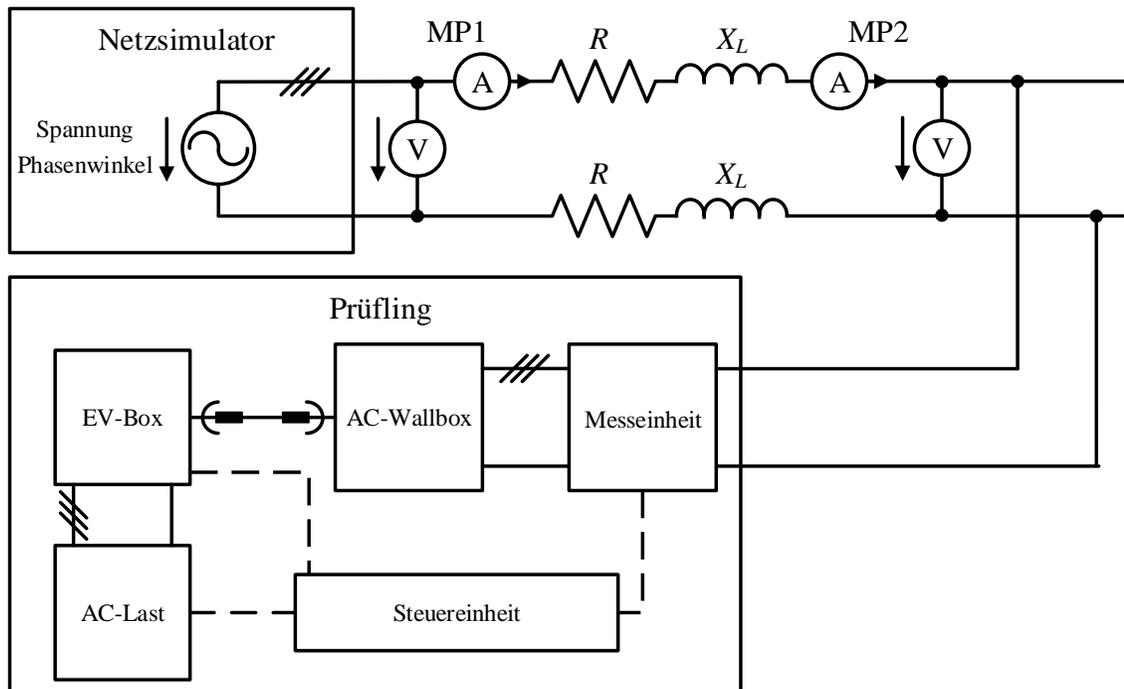
Schalt- und Steuerbox (EV-Box)



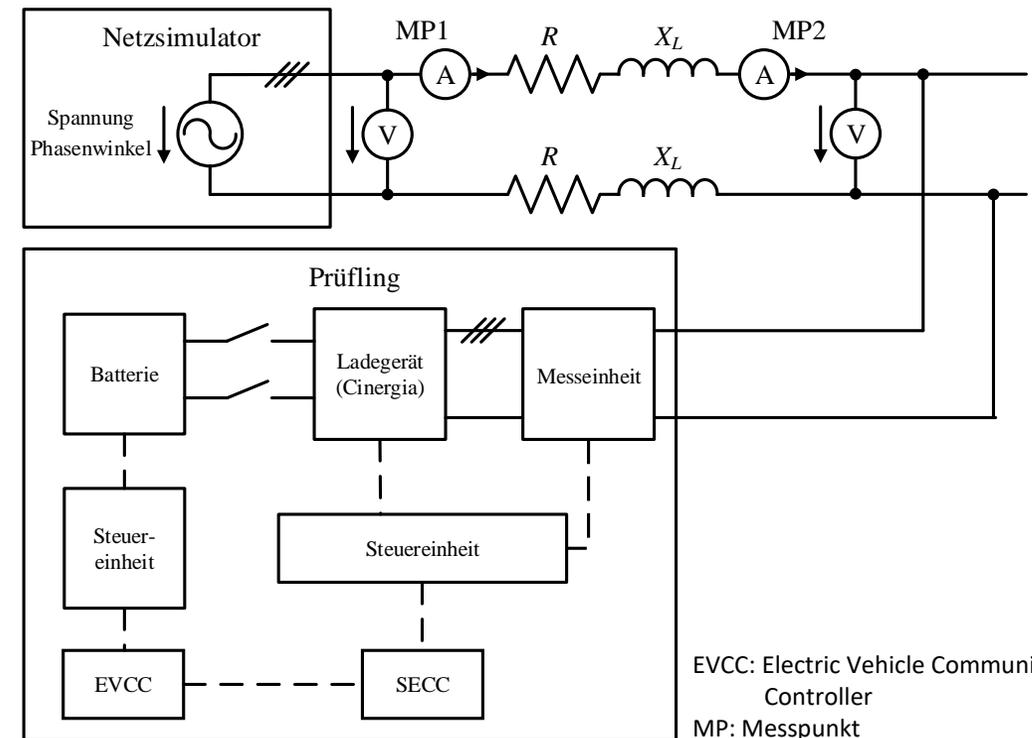
AC Ladenachbildung:
rechts Fahrzeuginlet Typ2
links CEE-Steckdose AC-Last

- Aufbauten zum Test der netzorientierte Lademethoden
- Aufbauten auch mit realem EV umsetzbar

AC-Laden

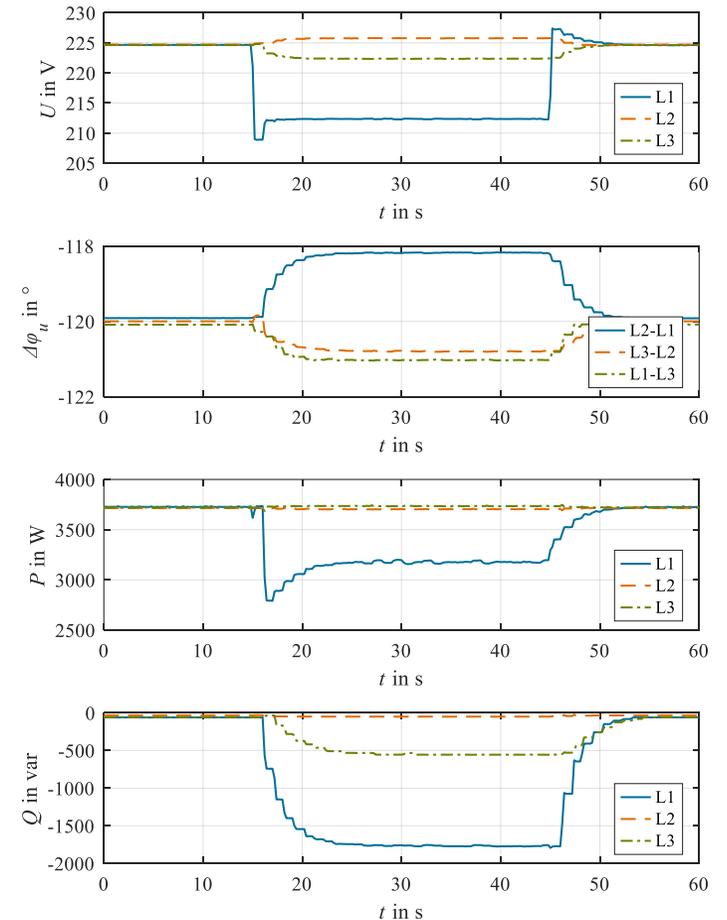


DC-Laden



EVCC: Electric Vehicle Communication Controller
 MP: Messpunkt
 SECC: Supply Equipment Charging Controller

- Phasenwinkel sollte bei der Umsetzung von Unsymmetrieregungen berücksichtigt werden
- Phasengenaue $P(U)$ -Regelung und $Q(\Delta\varphi)$ -Regelung eignen sich zur Reduzierung von Unsymmetrie
- Durch Kombination von $P(U)$ und $Q(\Delta\varphi)$ kann positiver Effekt auf Spannungsunsymmetrie erhöht werden
- Netzorientiertes Laden ist praktisch umsetzbar
 - Blindleistungsbereitstellung erfordert Active Front End als Ladegerät
 - Phasengenaue Ansätze erfordern entsprechende Topologie des Ladegeräts



Phasengenaue $P(U)$ & $Q(U)$



- Einleitung und Projektziele
- Entwicklung und Test eines induktiven Ladesystems
- Konduktiver Feldtest
- Erzeugungs- und netzorientierte Ladekonzepte
- **Induktiver Feldtest**
- Fazit und Ausblick

Feldtest Berlin

Installation und Betrieb



- Installation am Depot von Fairsenden
- Notwendige Infrastruktur (geeignete Stromversorgung, entsprechende Installationsarbeiten etc.) wurden im Vorfeld beauftragt und durchgeführt
- Schaltschrank Primärseite im Innenraum des Gebäudes platziert
- Zwei Schwellen als mechanische Positionierunterstützung (Zusatz zur elektron. Positionierhilfe im Fahrzeug)
- Nutzung des Systems im täglichen City-Logistik-Betrieb von Fairsenden



Feldtest Braunschweig

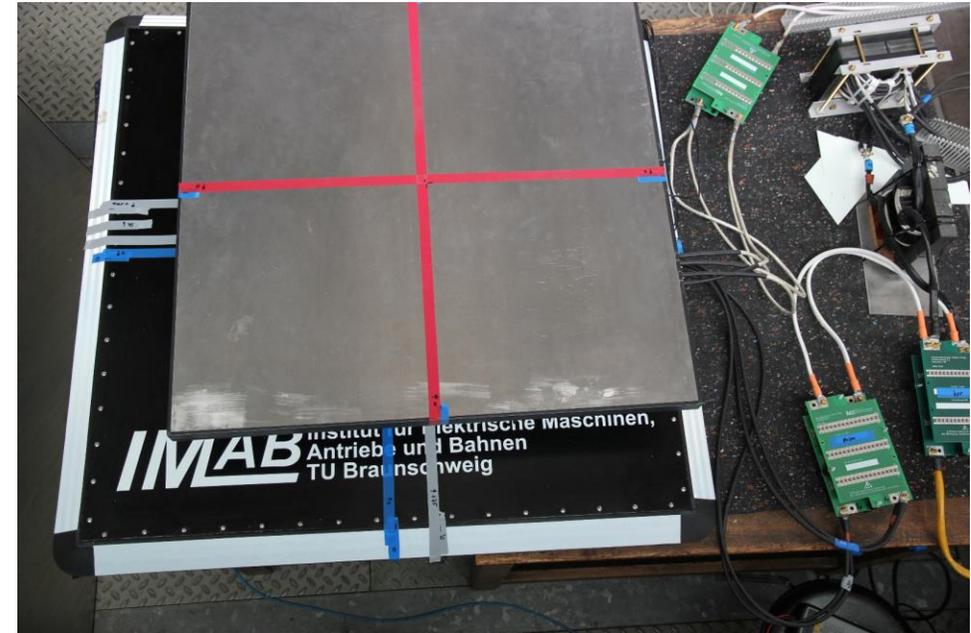
Installation und Betrieb



- Nach Feldtest in Berlin erfolgte Installation am Niedersächsischen Forschungszentrum Fahrzeugtechnik (NFF) In Braunschweig
- Baulichen Gegebenheiten am NFF ähneln denen in Berlin
- Nutzung des Systems durch den Fachbereich Gebäudemanagement der TU Braunschweig
- Durch Verlegung nach Braunschweig konnte Feldtestdauer auch über das Projektende hinaus verlängert werden



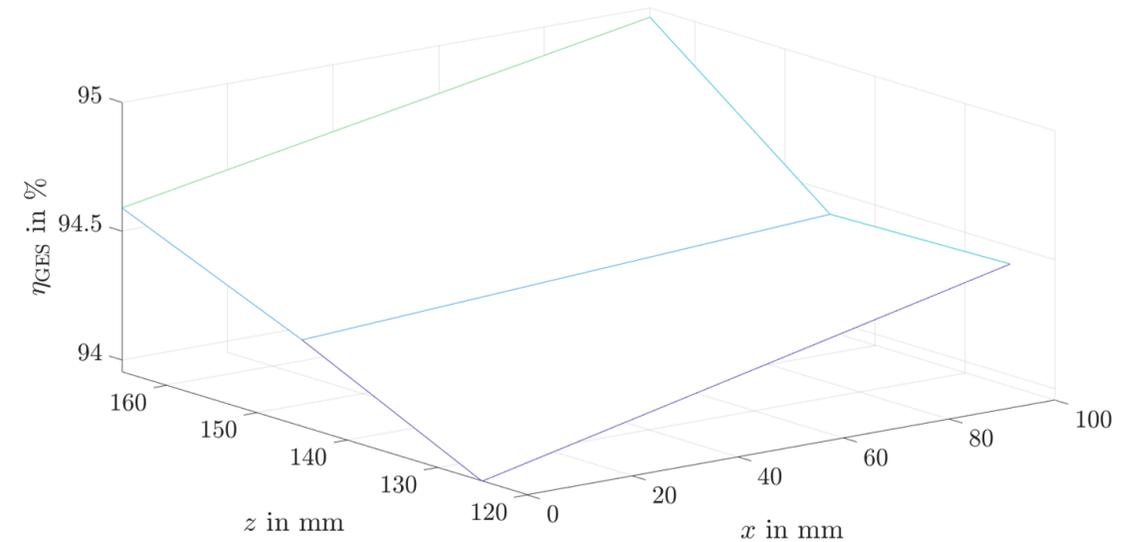
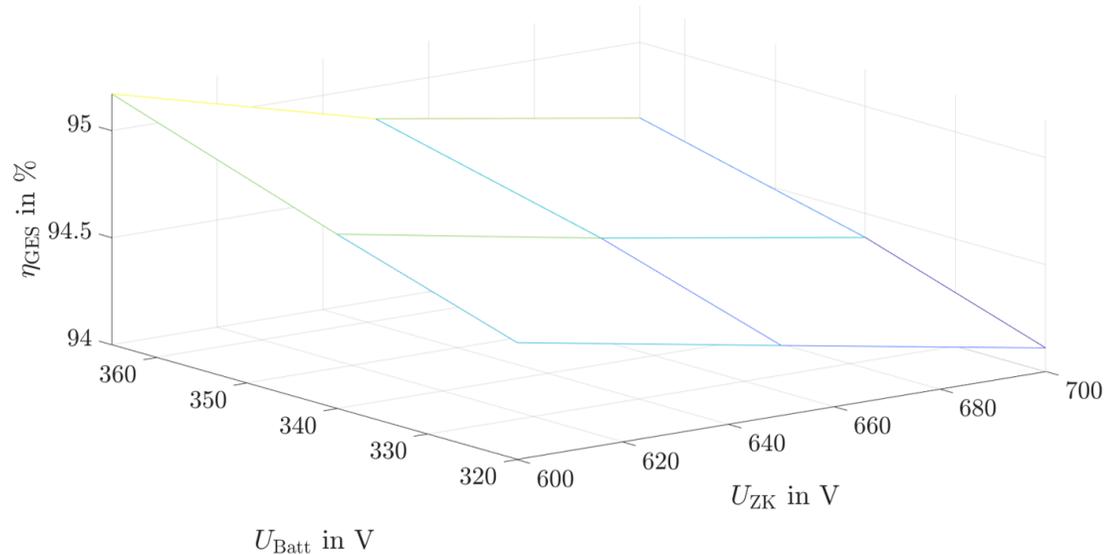
- Nachbildung des Leistungspfad in Prüfstandsaufbauten
- Möglichkeit zur Durchführung von Messungen und Versuchen unter reproduzierbaren Bedingungen
- Untersuchung von Extremfällen, die am Fahrzeug nicht herbeigeführt werden sollen
- Modifikationen des Prüfstands für weiterführende Versuche ohne in den laufenden Fahrzeugbetrieb eingreifen zu müssen



Versatzmessungen mithilfe des Prüfstandaufbaus

Begleitende Prüfstandmessungen

Ergebnisse der Prüfstandsmessungen



Wirkungsgrad abhängig von Batteriespannung U_{Batt} und der Zwischenkreisspannung U_{ZK} des Wechselrichters für $x=y=0$ mm und $z=165$ mm

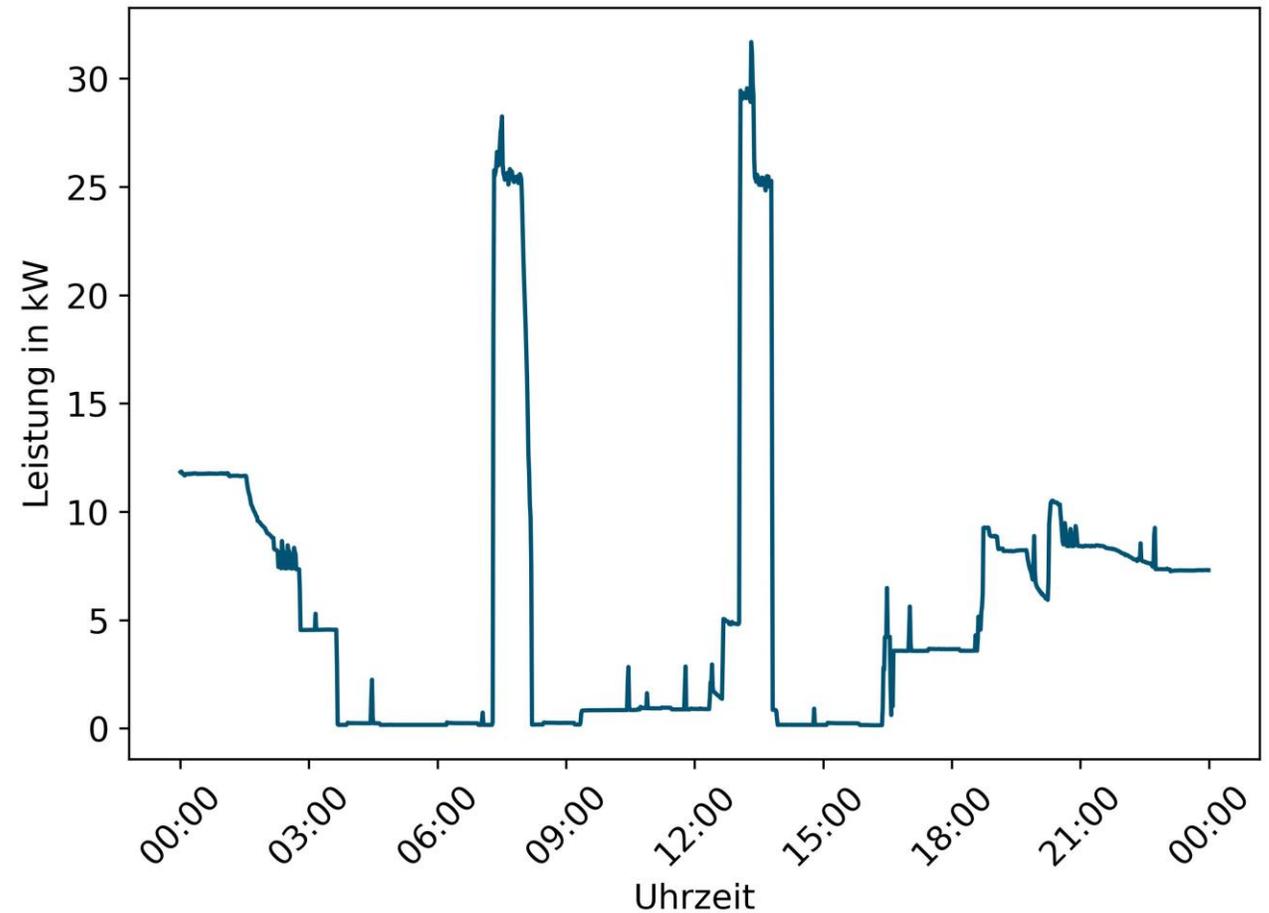
Wirkungsgrad des Gesamtsystems über dem Versatz in x - und z -Richtung für $y = 0$ mm, $U_{ZK} = 650$ V, $U_{Batt} = 340$ V

Alle Werte gemessen zwischen Wechselrichterzwischenkreis des Primärwechselrichters und DC-Ausgang der Sekundärseite. Batterienachbildung mittels DC-Senke, Versuchsaufbau mit Komponenten in Laborausführung.

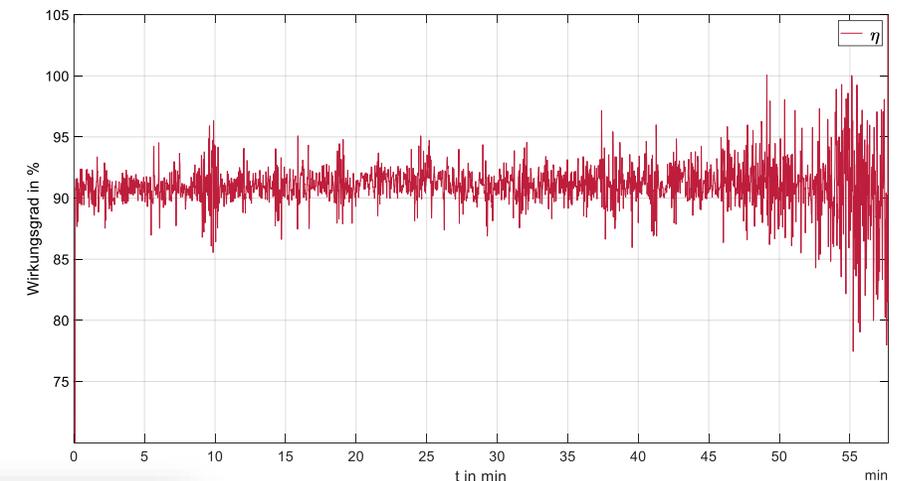
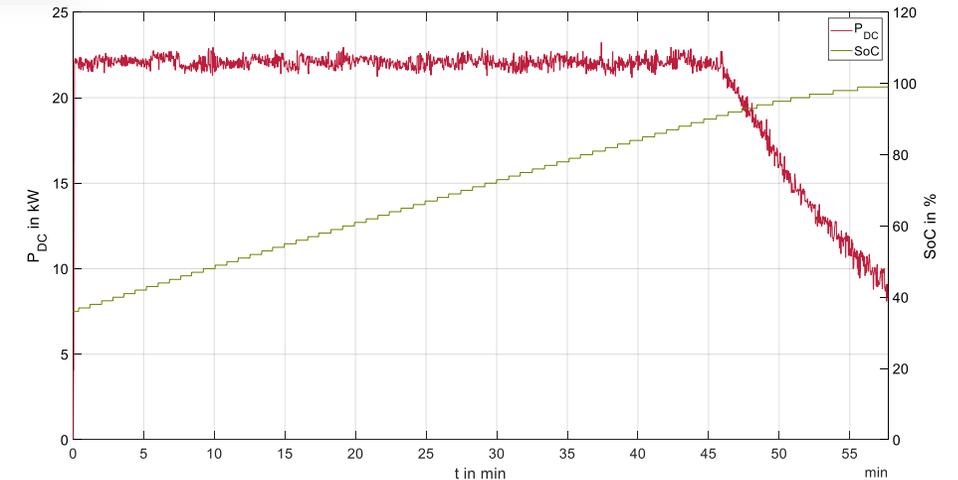
Induktiver Feldtest

Messungen in Berlin

- Messung mit Netzanalysator (PQ Box am Anschlusskasten des induktiven Ladesystems)
- Messung Lastdaten und Netzqualitätsdaten
- Abb.: Beispieltag im Feldtest in Berlin
- Gelegenheitsladen wird ersichtlich



- Speicherung der DC-Ladedaten (Strom, Spannung, SOC) durch EVCC im Fahrzeug
- Messung Primärseite
 - Leistungsmessgerät Linax PQ5000 (entspricht Messkonzept aus Laboruntersuchungen der Ladekonzepte) in Primärschaltschrank am Netzeingang integriert
 - PQ-Box als mobiler Netzanalysator
 - Messung Netzqualitätsdaten und netzseitige Leistung
- Im praktischen Betrieb Wirkungsgrad (Netzeingang-Batterie) bei Nennleistung durchschnittlich im Bereich von 91 %



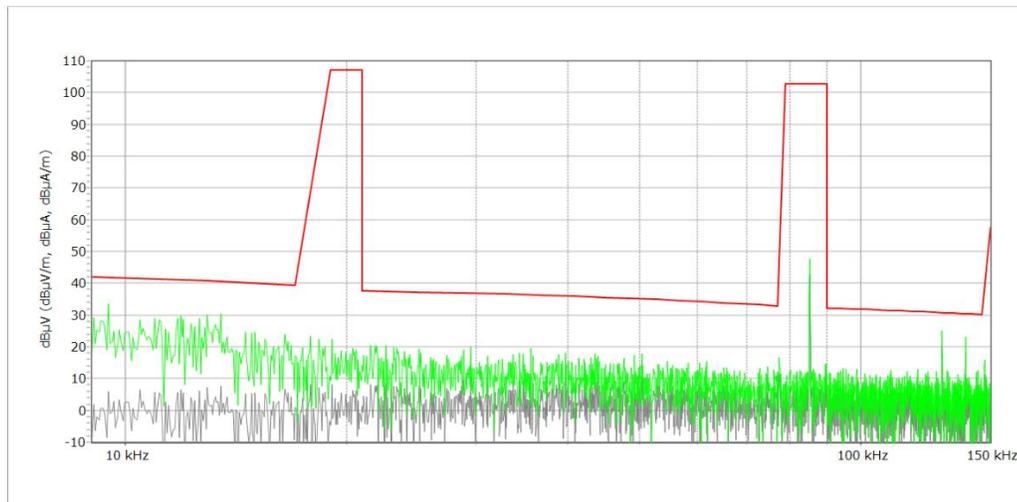
Induktiver Feldtest

Feldmessungen am NFF

- Die EMV-Messungen zeigen, dass die Störaussendungen unter den Grenzwerten der DIN EN 61980-1 bleiben
- Durch die Messungen ist davon auszugehen, dass die Grenzwerte auch bei einer aufwendigen Messung in einem EMV-Labor ebenso eingehalten werden.

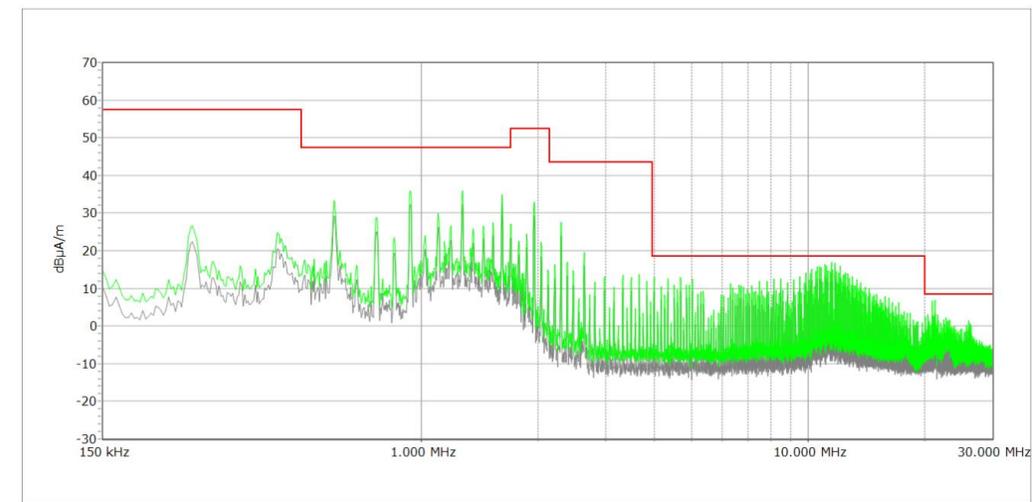


Messungen im Ladebetrieb mit 22kW.



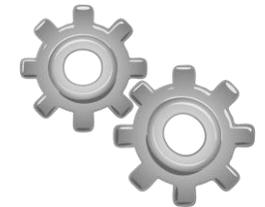
H-Feld-Messung (9-150kHz) X-Richtung Ladebetrieb

Messungen im Ladebetrieb mit 22kW.



H-Feld-Messung (150kHz – 30MHz) X-Richtung Ladebetrieb

- Induktiven Ladens im Realbetrieb technisch umsetzbar und funktionsfähig
- Im bisherigen praktischen Einsatz zeigte sich, dass Wartungsarbeiten an der Technik gering sind
- Einfache Integration des induktiven Ladens in die Betriebsabläufe von Fairsenden und dem Gebäudemanagement der TU Braunschweig
- Aufgenommenen Ladedaten vom Feldtest in Berlin zeigen, das induktive Ladesystem wurde alltäglich genutzt (Laden über Nacht und Gelegenheitsladen)
- Nutzer bewerteten das System in der Anwendung positiv
→ Anwenderfreundliche Ladetechnologie
- Fahrzeug ausschließlich induktiv geladen (konduktives Laden war weiterhin möglich)
→ Zuverlässigkeit und hohe Akzeptanz der induktiven Ladetechnologie



Induktiver Feldtest

Handlungsempfehlungen



- Induktives Laden ermöglicht einfache und nutzerfreundliche Integration des Gelegenheitsladens (z. B. Ladevorgänge direkt aus Fahrerraum startbar)
→ Potenzial für Vereinfachung von Betriebsabläufen im Anwendungsfall City-Logistik
- Induktives Laden ermöglicht auch im praktischen Einsatz vergleichbare Wirkungsgrade zum konduktiven Laden
→ Wirkungsgrad kein Ausschlusskriterium für die induktive Ladetechnik
- Ladeinfrastruktur lässt die Nutzung durch mehrere Fahrzeuge zu (Ausnutzung kann erhöht werden)

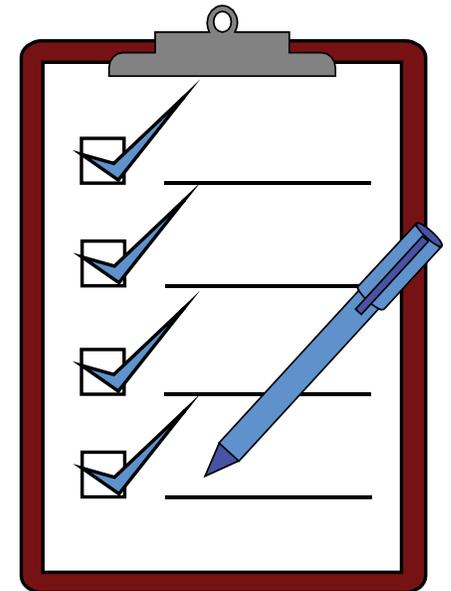
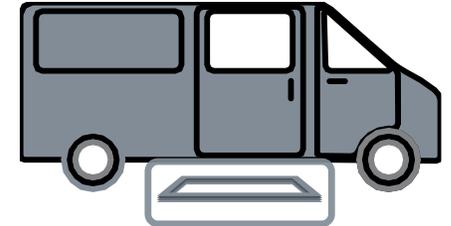




- Einleitung und Projektziele
- Entwicklung und Test eines induktiven Ladesystems
- Konduktiver Feldtest
- Erzeugungs- und netzorientierte Ladekonzepte
- Induktiver Feldtest
- **Fazit und Ausblick**



- Auslegung eines induktiven Ladesystems mit Gesamteffizienz >90 %
 - Vollständige Systemauslegung und Implementierung durchgeführt
 - Systemwirkungsgrad für entwickeltes System ist durchgehend hoch
 - Versatzempfindlichkeit gering im festgelegten Versatzbereich
 - Komponentenentwicklung und Optimierung bis hin zum voll funktionsfähigen und alltagstauglichen Versuchsfahrzeug durchgeführt
- Anforderungen Ladesystem für leichtes Nutzfahrzeug im Lieferverkehr
 - Berücksichtigung fahrzeugspezifischer Randbedingungen bei der Auslegung notwendig
 - Möglichst geringer Platzbedarf des Systems im Nutzraum erstrebenswert
 - Leichte Nutzfahrzeuge bieten ausreichend Bauraum für wirkungsgrad- und versatzoptimierte Systeme
- Feldtests belegen die Praxistauglichkeit von induktiven Ladesystemen
- Erkenntnisse aus den Feldtests
 - Zuverlässigkeit der induktiven Ladetechnologie und hohe Akzeptanz bei den Nutzern
 - Einfache Integration des induktiven Ladens in Betriebsabläufe
 - Anwenderfreundliches Laden



- Induktives Laden steht nicht in einem Verdrängungswettbewerb mit konduktiven Schnellladesystemen
- Induktive Ladesysteme als Komfortfunktion oder zur Vereinfachung von Betriebsabläufen (Lieferfahrzeuge, Taxibetrieb, Shuttledienste)
- Schlüsseltechnologie für autonome Fahrzeuge im Fahr- und Parkbetrieb

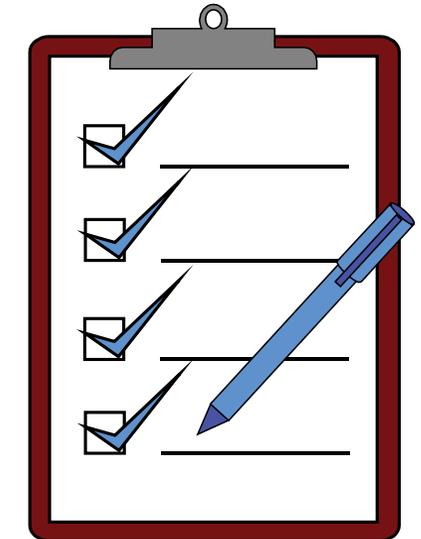
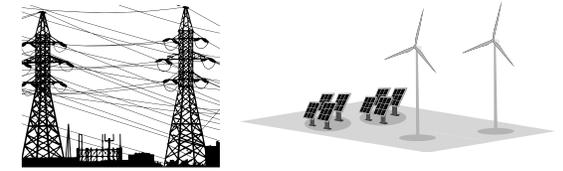


LISA4CL - Lieferdienstbetrieb



emilia - Taxibetrieb

- Methoden zur Integration erneuerbarer Energien beim Laden
 - Preisbasierte Ansätze, variable Stromtarife
 - CO₂-basiertes Laden
- Ökonomische und ökologische Optimierung des Betriebs einer Elektrofahrzeugflotte durch erzeugungsorientierte Ladekonzepte möglich
- Wirkleistungsreduzierung in Abhängigkeit der Spannung und Blindleistungsbereitstellung ermöglichen netzstützende Beitrag zur statischen Spannungshaltung
- Phasengenaue Regelungsansätze ($P(U)$ und $Q(\Delta\varphi)$) eignen sich zur Reduzierung von Unsymmetrie
- Netzorientierte Ladekonzepte sind abhängig von der Topologie der Ladegeräte aus technischer Sicht praktisch umsetzbar
- Systemintegration induktives Ladesystem ist praktisch umsetzbar
 - Einbindung in ein zentrales Managementsystem möglich
 - Ladekommunikation nach Standards erforderlich (ISO 15118-20, IEC 61980-2, OCPP)



- Induktives Laden in Kombination mit autonomen Fahren und Parken in verschiedenen Anwendungsbereichen
- Entwicklung bidirektionaler induktiver Ladesysteme verbunden mit wirkungsgradorientierter Komponentenoptimierung
- Bidirektionales Laden im Kontext netz- und erzeugungsorientierter Ansätze
 - Parkhaus als Speicher
 - Stromtarifabhängige Optimierung der Ladeabläufe
- Integration in bestehende Fahrzeugsysteme
 - Integration der Ladetechnik in den Onboard-Charger
 - Nutzung gemeinsamer Sensorik für autonomes Fahren und Fahrzeugpositionierung

