

**HOCHSCHULE
HANNOVER**
UNIVERSITY OF
APPLIED SCIENCES
AND ARTS

–
Fakultät I
Elektro- und
Informationstechnik

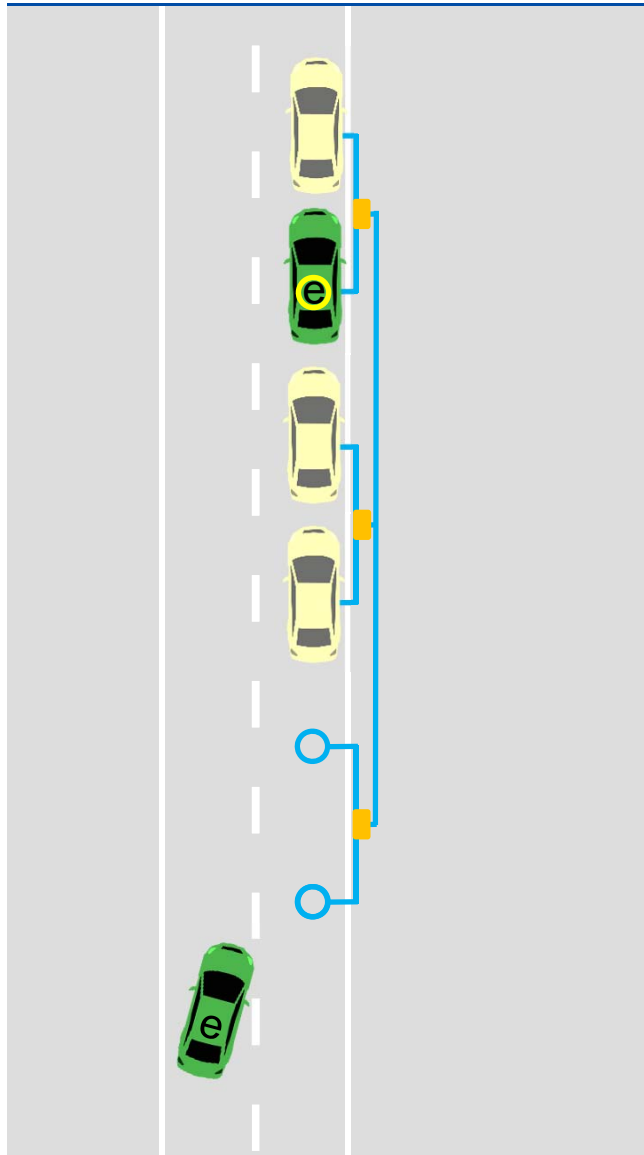
Projekt LaneCharge

**Induktives Laden von Elektrotaxis
am Hauptbahnhof Hannover**

Prof. Dr. Heiko Hepp

17.11.2020


Gliederung



- I. Einleitung
- II. Reichweitenproblem von E-Fahrzeugen
- III. Lösungsansätze
- IV. IET Funktionsprinzip
- V. Projektansatz
- VI. Geplanter Projektverlauf
- VII. Aktueller Stand

I. Einleitung

Hochschule Hannover



Startseite Studium Forschung Internationales Weiterbildung Service Über uns Was suchen Sie?

Ich bin und interessiert an

Hochschule Hannover

Fakultät I	Fakultät II	Fakultät III	Fakultät IV	Fakultät V
Elektro- und Informationstechnik >	Maschinenbau und Bioverfahrenstechnik >	Medien, Information und Design >	Wirtschaft und Informatik >	Diakonie, Gesundheit und Soziales >

Studierende	Lehrende	Fakultäten	Studiengänge	Forschungsprojekte
9.897	510	5	67	60

I. Einleitung

Institut für Konstruktionselemente, Mechatronik und Elektromobilität

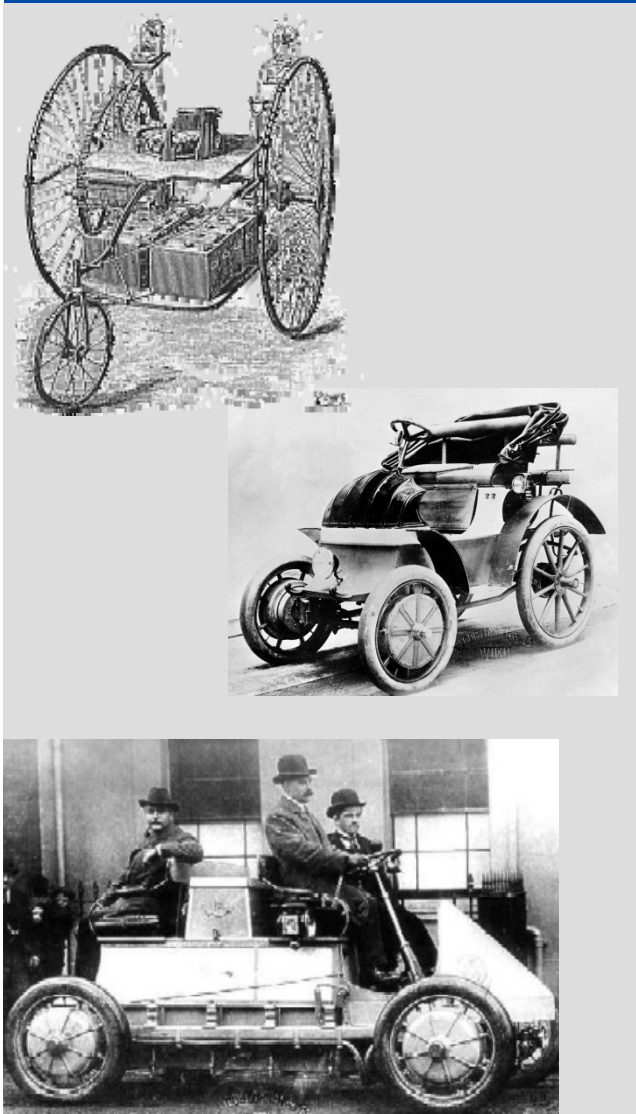


Institut für
Konstruktionselemente
Mechatronik und
Elektromobilität

- Gründungsdatum: 26.10.2016
- Professoren: 8
- Assoziierte Professoren: 7
- Mitarbeiter: 22
- Standort: Bismarckstraße / Ricklinger Stadtweg
- Schwerpunktthemen im Bereich E-Mobilität:
 - Auslegung der Ladeinfrastruktur für gewerbliche und private Mobilität
 - Lagerausfälle durch Lagerstrom in E-Fahrzeugen
 - Optimierung von Pedelec-Verleihsysteme
- Projektumfänge: ca. 5,2 mio. €
- Homepage: <http://www.ikme.wp.hs-hannover.de/>

I. Einleitung – Elektromobilität hat lange Tradition

Historische Elektrofahrzeuge



/wikipedia/

- **Erstes Elektroauto (1834)**

Thomas Davenport, ohne wiederaufladbaren Akku

- **Erstes Elektroauto mit wiederaufladbarer Akku (1881)**

Gustave Trouv s , dreir driges Elektroauto, Antrieb  ber zwei Motoren, wiederaufladbarer Bleiakku, H chstgeschw. 12km/h

- **Lohner-Porsche (1900)**

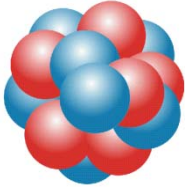
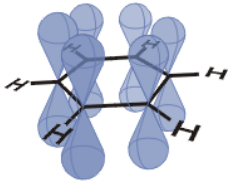
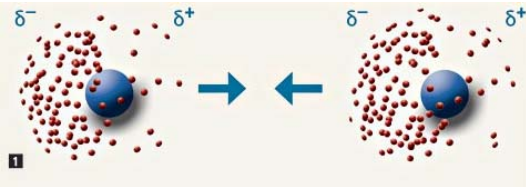
Antrieb  ber Radnarbenmotoren an den Vorderr dern, 2 x 2,5 PS, Bleiakku mit 300 Ah / 80 V, Reichweite 50 km, H chstgeschw. 50 km/h, Gewicht 1000 kg, Akku 410 kg

- **Lohner-Porsche, Allradantrieb (1900)**

Allradantrieb  ber 4 Radnarbenmotoren, H chstgeschw. 60 km/h, Akkugewicht: 1800 kg

II. Reichweitenproblem von E-Fahrzeugen

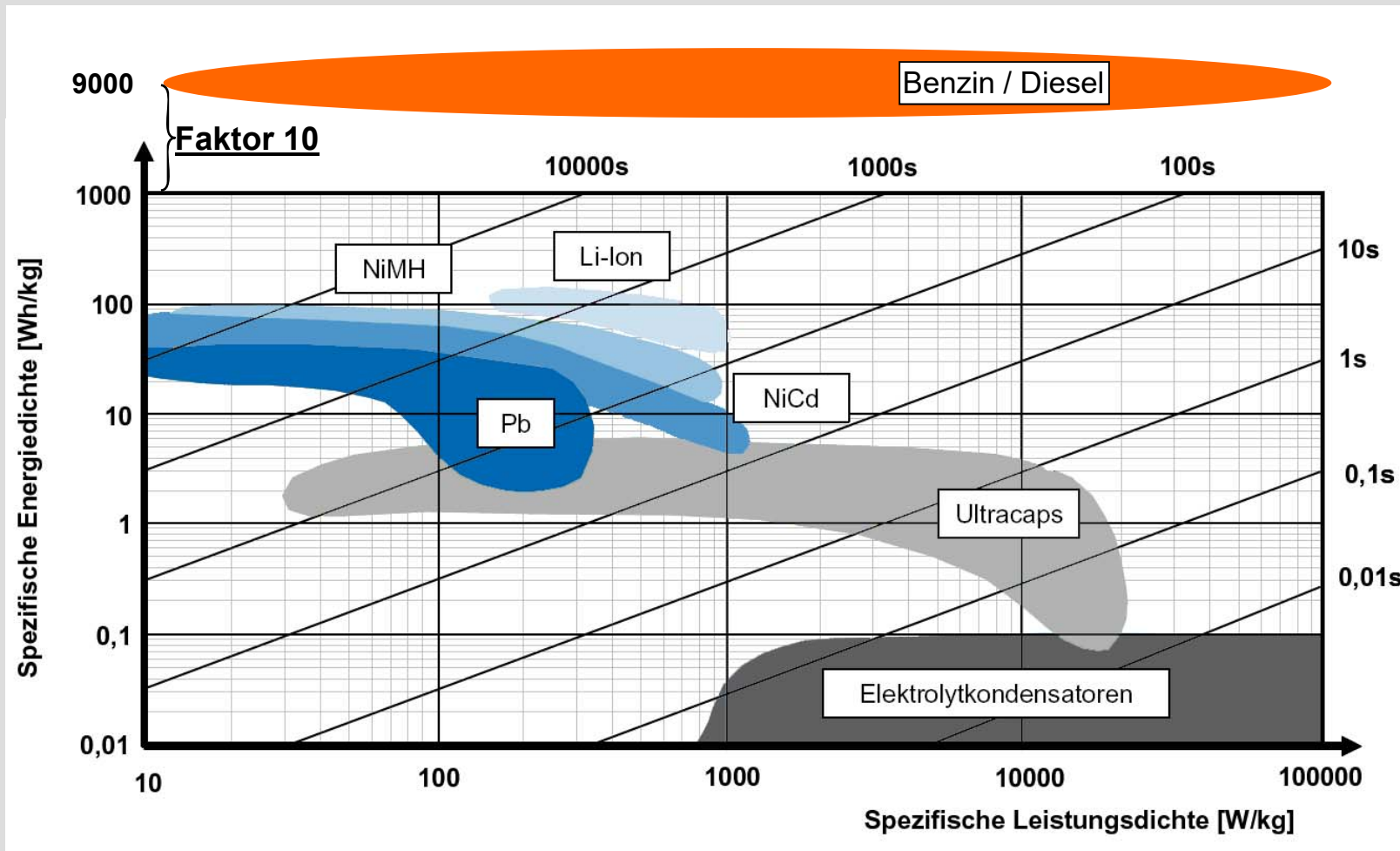
Energiespeicher - Grenzen der Energiedichte

Prinzip		Energiedichte	Anwendungen
"Kernkraft" (Bindungskräfte im Atomkern)	 Atom	<div>sehr hoch</div> <div> Faktor \updownarrow 100 </div> <div>hoch</div> <div> Faktor \updownarrow 100 </div> <div>niedrig</div>	Atom U-Boot Satellit
Oxidation (Bindungskräfte im Molekül)	 Molekül		Schiffe Nutzfahrzeuge PKW
Elektro-chemisch (Verschiebung bzw. Freisetzung el. Ladungen)	 Elektrische Ladung		PKW Zweiradfahrzeuge

/IAV/

II. Reichweitenproblem von E-Fahrzeugen

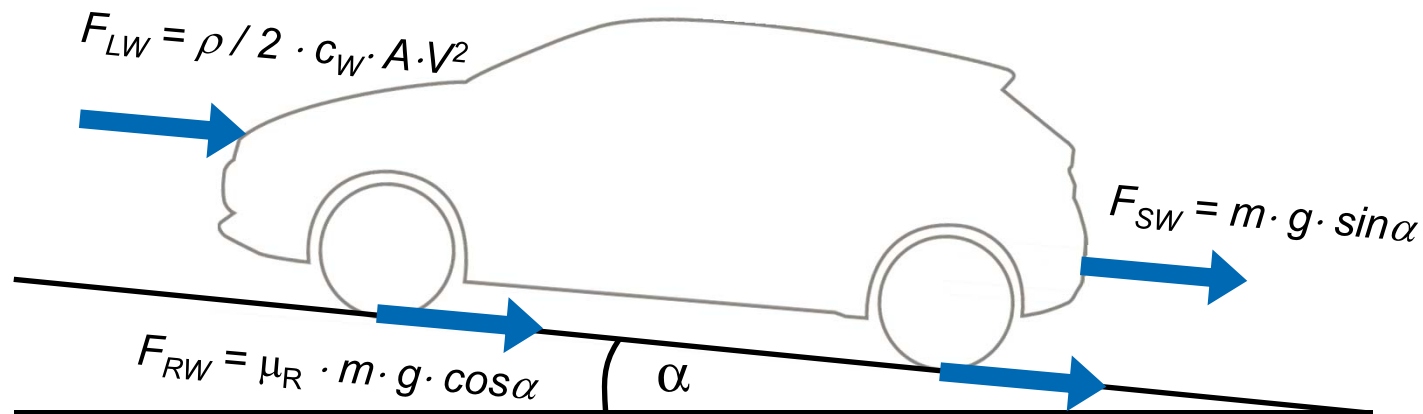
Energiedichte und Leistungsdichte elektrischer Speicher



/Springer Verlag/

II. Reichweitenproblem von E-Fahrzeugen

Wirkende Kräfte - Leistungsbedarf



$$\eta_G = \eta_{\text{Batterie}} \cdot \eta_{\text{Wandler}}$$

$$F_{GW} = F_{LW} + F_{RW} + F_{SW}$$

$$P = 1 / \eta_G \cdot F_{GW} \cdot V / 3600$$

$$\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$


II. Reichweitenproblem von E-Fahrzeugen

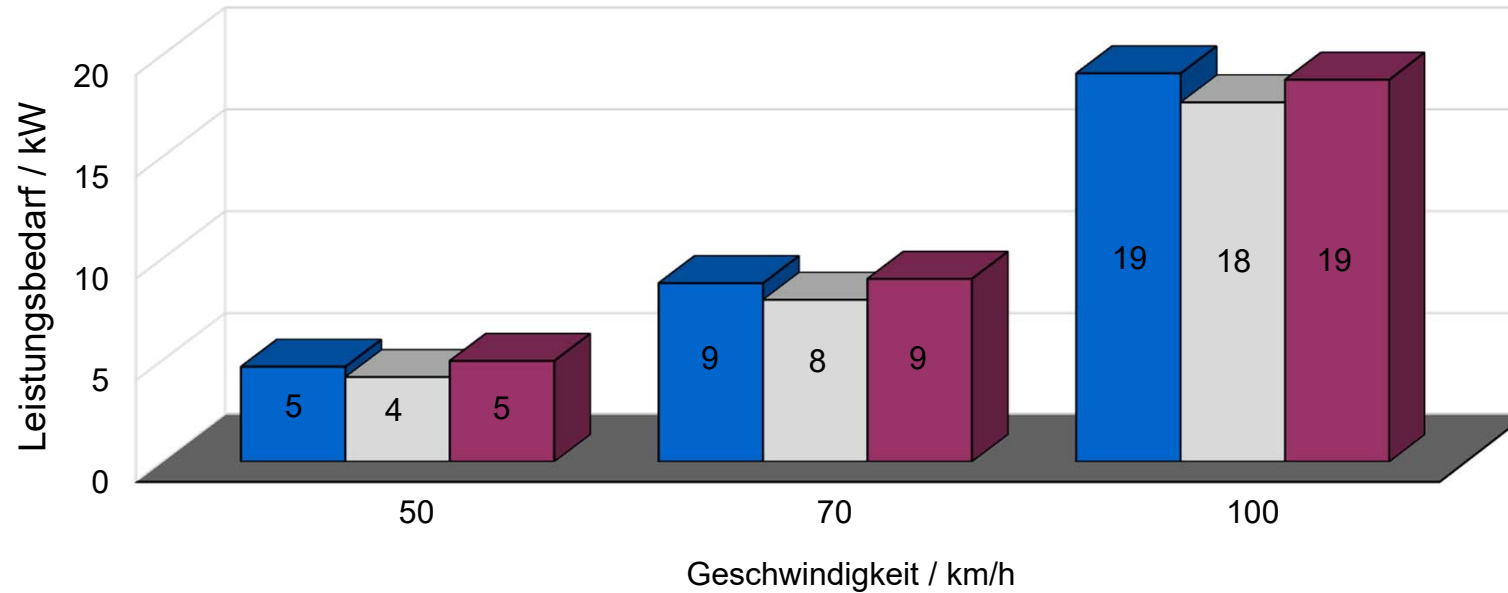
Wirkende Kräfte -> Leistungsbedarf

- Annahmen:
 - Steigungswinkel $\alpha = 0^\circ$ -> Steigungswiderstand $F_{SW} = 0$ -> Steigleistung $P_{SW} = 0$
 - Beschleunigung $\ddot{x} = 0$
 - Windgeschwindigkeit $V_w = 0$ m/s
 - Wirkungsgrade (Batterie: 90%; Wandler: 80%)
 - Rollwiderstandsbeiwert: $\mu_R \sim 0,008 + 3 \times 10^{-5} \times V$ (km/h)
- Beispielfahrzeuge:
 - Volkswagen ID.3: $A = 2,36 \text{ m}^2$; $c_w = 0,27$; $m = 1.794 \text{ kg}$
 - Nissan Leaf: $A = 2,29 \text{ m}^2$; $c_w = 0,27$; $m = 1.535 \text{ kg}$
 - Tesla Model S: $A = 2,34 \text{ m}^2$; $c_w = 0,24$; $m = 2.050 \text{ kg}$

II. Reichweitenproblem von E-Fahrzeugen

Wirkende Kräfte -> Leistungsbedarf

	VW ID.3			Nissan Leaf			Tesla Model S		
									
Geschwindigkeit / km/h	50	70	100	50	70	100	50	70	100
Rollwiderstand F_{RW} / N	167	178	194	143	152	166	191	203	221
Luftwiderstand F_{LW} / N	75	148	301	73	143	292	66	130	265
Fahrwiderstand F_{GW} / N	242	325	495	216	295	458	257	333	487
Leistungsbedarf P / kW	4,7	8,8	19,1	4,2	8,0	17,7	5,0	9,0	18,8



III. Lösungsansätze für das Reichweitenproblem

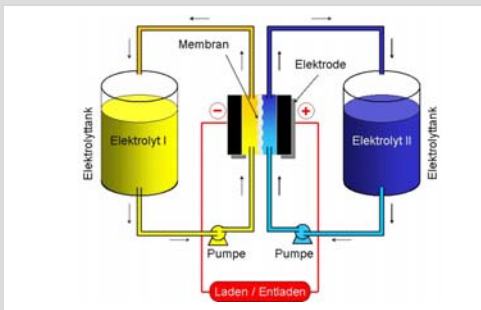
Range-Extender – Batteriewechselsysteme – Redox-Flow-Batterien



/IAV/



/Better Place/

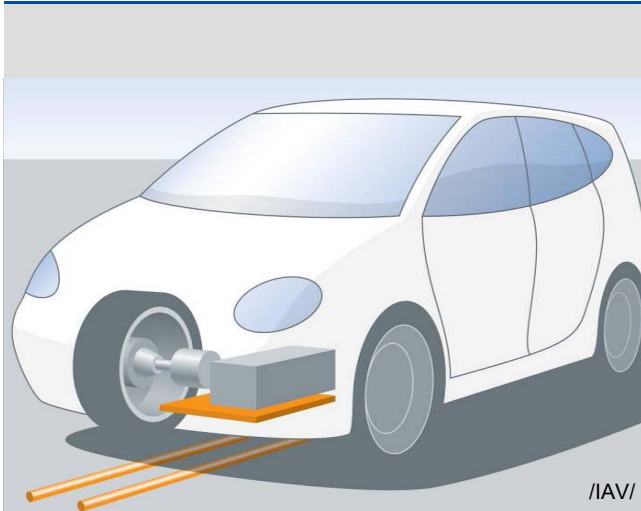


/RWTH-Aachen/

- **Range-Extender** ist (kleiner) On-Board-Stromerzeuger zur Erhöhung der Reichweite des elektrischen Antriebs
 - Verbrennungsmotor, Wärmekraftmaschine oder Mikrogasturbine mit Generator
 - Brennstoffzelle
- **Batteriewechselsysteme** mit proprietären Batterie-Einheiten zum schnellen automatisierten Austausch
 - Schnelle Aufladung, hohe Sicherheit, hoher Wirkungsgrad bei Aufladung
 - Keine einheitlichen Batterien, erhöhte Batteriekapazität pro Fahrzeug, hohe Infrastrukturkosten
- **Redox-Flow-Batterien** basieren auf zwei flüssigen Elektrolyten, die abgepumpt und getankt werden
 - schnelle Ladung durch „Tanken“, hohe Lebensdauer
 - geringe Leistungs- u. Energiedichte, toxisch, keine Kfz-Serienreife

III. Lösungsansätze für das Reichweitenproblem

Induktive Energieübertragung



Die induktive Energieübertragung erfolgt mit Hilfe von elektromagnetische Wellen zwischen zwei Spulen.

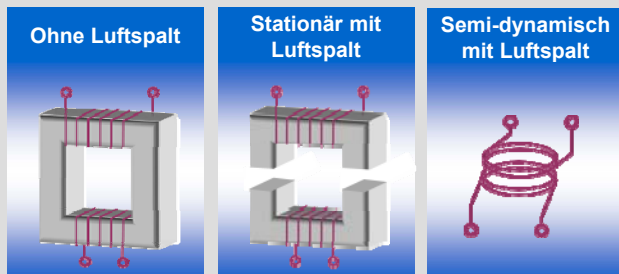
Prinzip:

Wie beim Transformator wird mittels einer Wechselspannung über eine Spule (primär) ein zeitlich veränderliches magnetisches Feld erzeugt, welches über ein zweite Spule (sekundär) wieder in eine Wechselspannung gewandelt wird.

Potential:

Moderne Leistungselektronikkomponenten mit schnellen Schaltzeiten erlauben heute die Übertragung hoher Leistungen bei vergleichsweise großen Abständen und geringen seitlichen Abstrahlungen

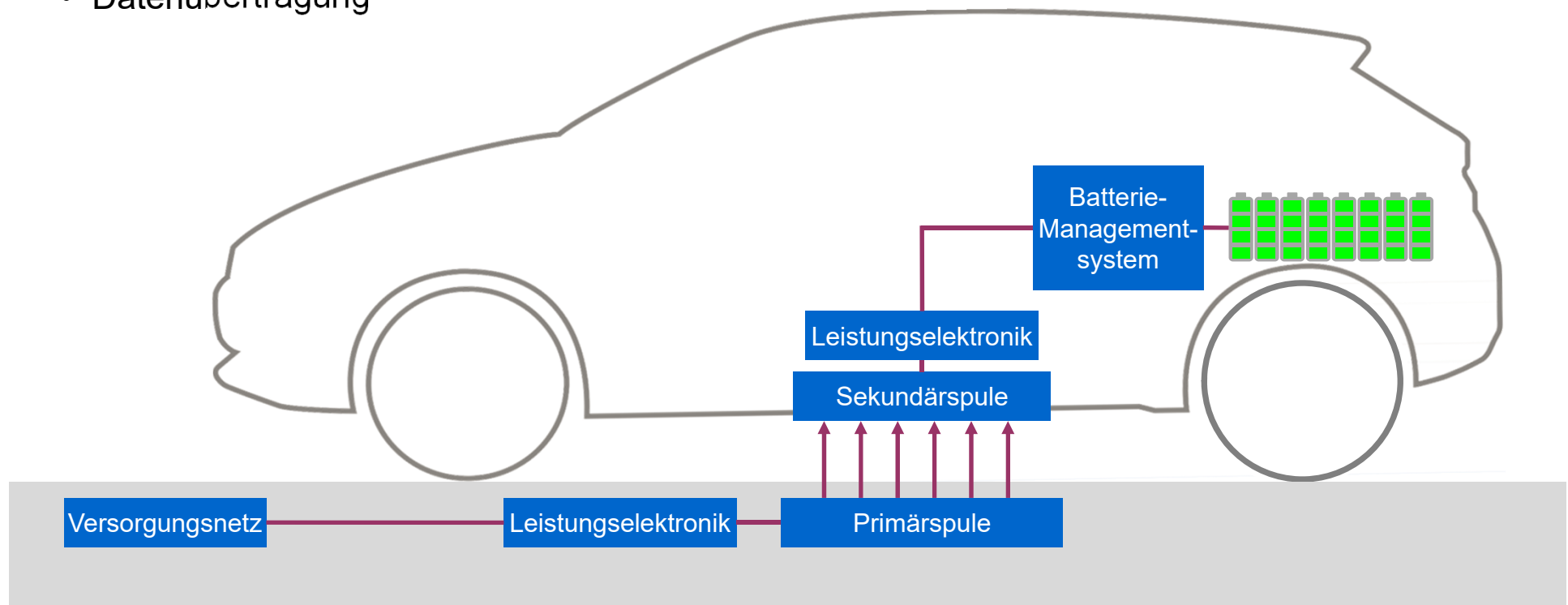
Transformatorprinzip



III. Lösungsansätze für das Reichweitenproblem

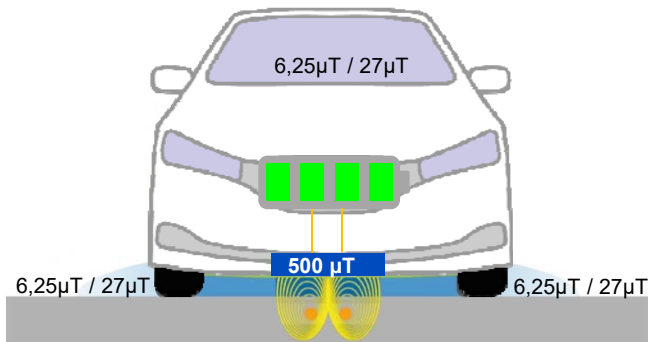
Induktive Energieübertragung – PKW Funktionsprinzip

- Übertragungsleistung 3,7 kW (≤ 22 kW)
- Wirkungsgrad $> 90\%$ ($> 80\%$)
- Frequenz < 100 kHz (85 kHz)
- Flussdichte < 500 μ T
- Luftspalt < 150 mm (100 – 250 mm)
- Datenübertragung



IV. IET Funktionsprinzip

Induktive Energieübertragung



Pro

- kein Nutzereingriff und automatische Netzanbindung
- hohe Sicherheit gegen Vandalismus und verschleißfrei
- keine Abstimmung der Isolationswächter notwendig
- erprobte Technologie
- Aufladung während der Fahrt möglich
- Senkung der Batteriekapazität möglich
- Verändert das Stadtbild nicht

Contra

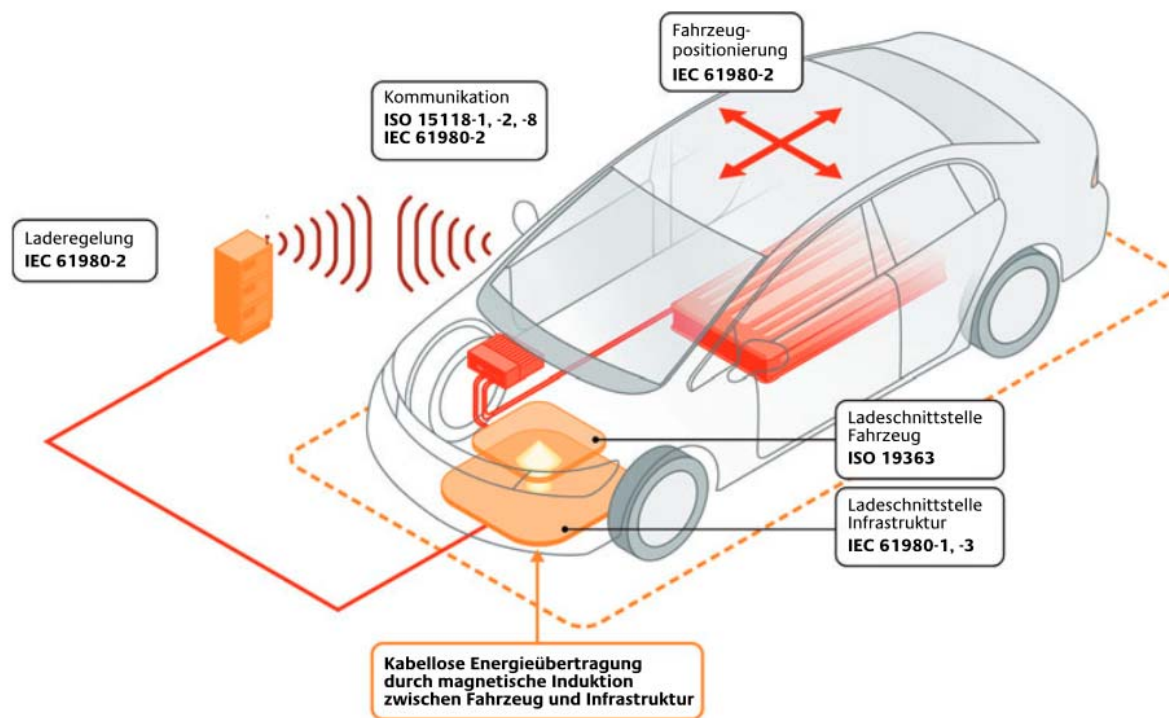
- Internationale Standardisierung (DKE) nicht vollständig abgeschlossen
- elektromagnetische Verträglichkeit
- hohe Infrastrukturkosten für mobile Ladung

IV. IET Funktionsprinzip

Induktive Energieübertragung - Normung



Kabelloses Laden von Elektrofahrzeugen



/NPE/

IV. IET Funktionsprinzip

Induktive Energieübertragung - Grundprinzip

- Für die mathematische Beschreibung der Vorgänge der kabellosen induktiven Energieübertragung sind vor allem das Durchflutungs- sowie das Induktionsgesetz von Bedeutung
- Das Durchflutungsgesetz nach Maxwell beschreibt die Wirbel des Magnetfelds H in Abhängigkeit der elektrischen Stromdichte S sowie der elektrischen Flussdichte D (Differentialform). Integriert ergibt sich aus dem rotierenden Magnetfeld die magnetische Durchflutung Θ bzw. der ihn hervorrufoende Strom I (Integralform):

$$\text{rot}(\vec{H}) = \vec{S} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \text{ (Differentialform) bzw.}$$

$$\Theta = I = \oint \vec{H} d\vec{s} = \iint \left(\vec{S} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{A} \text{ (Integralform)}$$

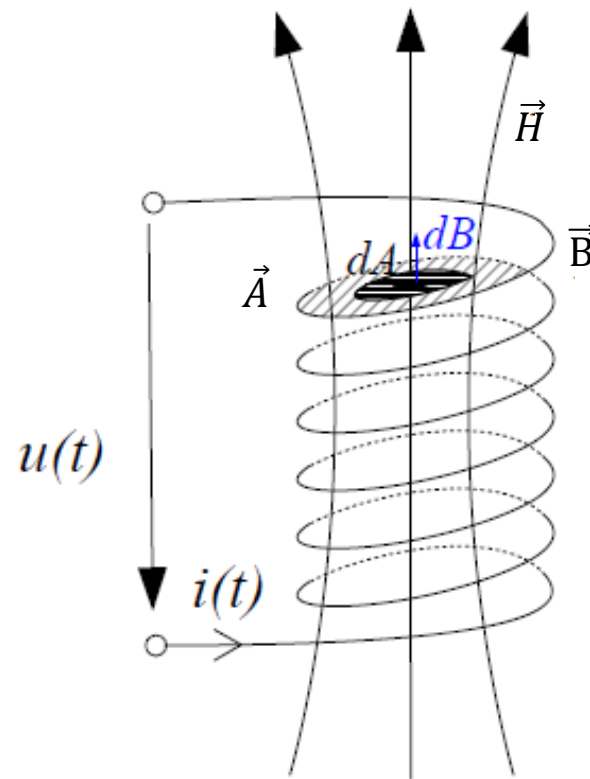
- Das Induktionsgesetz nach Maxwell beschreibt die Wirbel des elektrischen Felds E in Abhängigkeit der dadurch entstehenden magnetischen Flussdichte B (Differentialform). Mittels beidseitiger Integration resultiert die induzierte Spannung u_i (Integralform):

$$\text{rot}(\vec{E}) = \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \text{ (Differentialform) bzw.}$$

$$u_i = -\frac{d\Phi}{dt} = -\iint \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{A} = \oint \vec{E} d\vec{s} \text{ (Integralform)}$$

IV. IET Funktionsprinzip

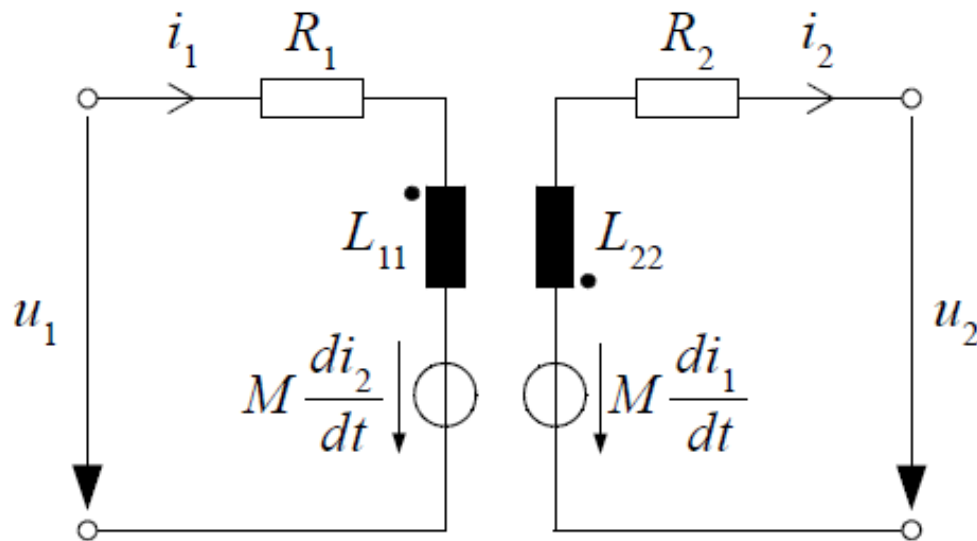
Induktive Energieübertragung - Grundprinzip



Einflussgrößen der induktiven Energieübertragung

IV. IET Funktionsprinzip

Induktive Energieübertragung - Grundprinzip



Ersatzschaltbild der Übertragungsstrecke zur kabellosen induktiven Energieübertragung

V. Projektansatz

Projektidee – Hintergrund - Problemstellung

Hintergrund

- Hannover wird weiterhin vom Umweltbundesamt auf der Liste der Städte mit NO₂ Überschreitung gelistet (“Platz” 26 von 65, Stand 05/2018) [1]
- Die Landeshauptstadt Hannover hat daraufhin ein Umsetzungskonzept zur Elektromobilität initiiert
 - u.a. “Umstellung der hannoverschen Taxiservices auf Elektrofahrzeuge“ in Prüfung [2]

Problemstellung

- Elektrifizierung des Fuhrparks der Taxiwirtschaft ohne Einschränkungen in Betriebsabläufen oder Wirtschaftlichkeit
- Tagesfahrstrecke von einem Taxi in Hannover beträgt ca. 150 km [3]
- Bei zentralen Ladepunkten (bspw. Betriebshof) kein Schicht- oder Messebetrieb des Fahrzeugs möglich

V. Projektansatz

Projektidee – Hintergrund - Problemstellung

Problemstellung

ISUP Studie – “Taxigutachten für die Landeshauptstadt Hannover” [6]

- Energiebedarfe und Einsätze von Taxis
 - Einsatzzeit: ca. 10h/Tag
 - Fahraufträge: ca. 1/h
 - Fahrleistung: ca. 60Tkm/a
 - Standzeit/Schicht: ca. 40-60%
 - Verhältnis Leer-/Besetztfahrten: ca. 50%
 - Durchschnittliche Besetzt-Fahrweite: 6,1km

Unter Annahme Fahrzeit-/Ladezeitverhältnisses von 0,5, ergibt sich bei einer Ladeleistung von 3kW eine Ladeleistung/Tag von 15kW für ein Elektrotaxi

Nissan Leaf mit 40kWh Batterie erreicht damit fast die gleiche Reichweite wie der Nissan Leaf e+, der bei gleicher Ausstattung ca. 8TEuro mehr kostet

V. Projektansatz

Ansatz für Realisierung

Realisierung des Vorhabens

- Demonstrationsprojekt an einem realen Taxistand
- Aufbau eines Systems zur Energieübertragung mittels induktiver Ladetechnik
- In Abstimmung mit Landeshauptstadt Hannover und lokaler Taxiwirtschaft Beschaffung eines geeigneten Fahrzeugs
- Verifizierung eines robusten und sicheren Systems in einem Testfeld bei einem Projektpartner
 - Systemansatz ermöglicht der Taxiwirtschaft die Elektrifizierung ihres Fuhrparks

V. Projektansatz

Ansatz für Realisierung - Projektsteckplan

- **Hauptziel**
 - Quasi-dynamisches Laden von Elektrofahrzeugen
- **Nutzen**
 - Wirtschaftliche Nutzung von Elektrofahrzeugen in der Taxiwirtschaft
 - Wesentliche Erhöhung der Reichweite von batterieelektrischen Fahrzeugen
 - Multiplikationseffekte bei der Erfahrbarkeit von Elektrofahrzeugen in der Praxis
- **Fixtermine**
 - Projektstart (01.06.2019) , Systemerprobung (Q1/2021), Testfeldaufbau (Q3/2021), Aufbau Taxi-Stand (Q3/2022), Projektende (31.05.2023)
- **Projektvolumen**
 - ca. 3,7 Mio. Euro

V. Projektansatz

Ansatz für Realisierung - Ziele

- **Übergeordnete Ziele**

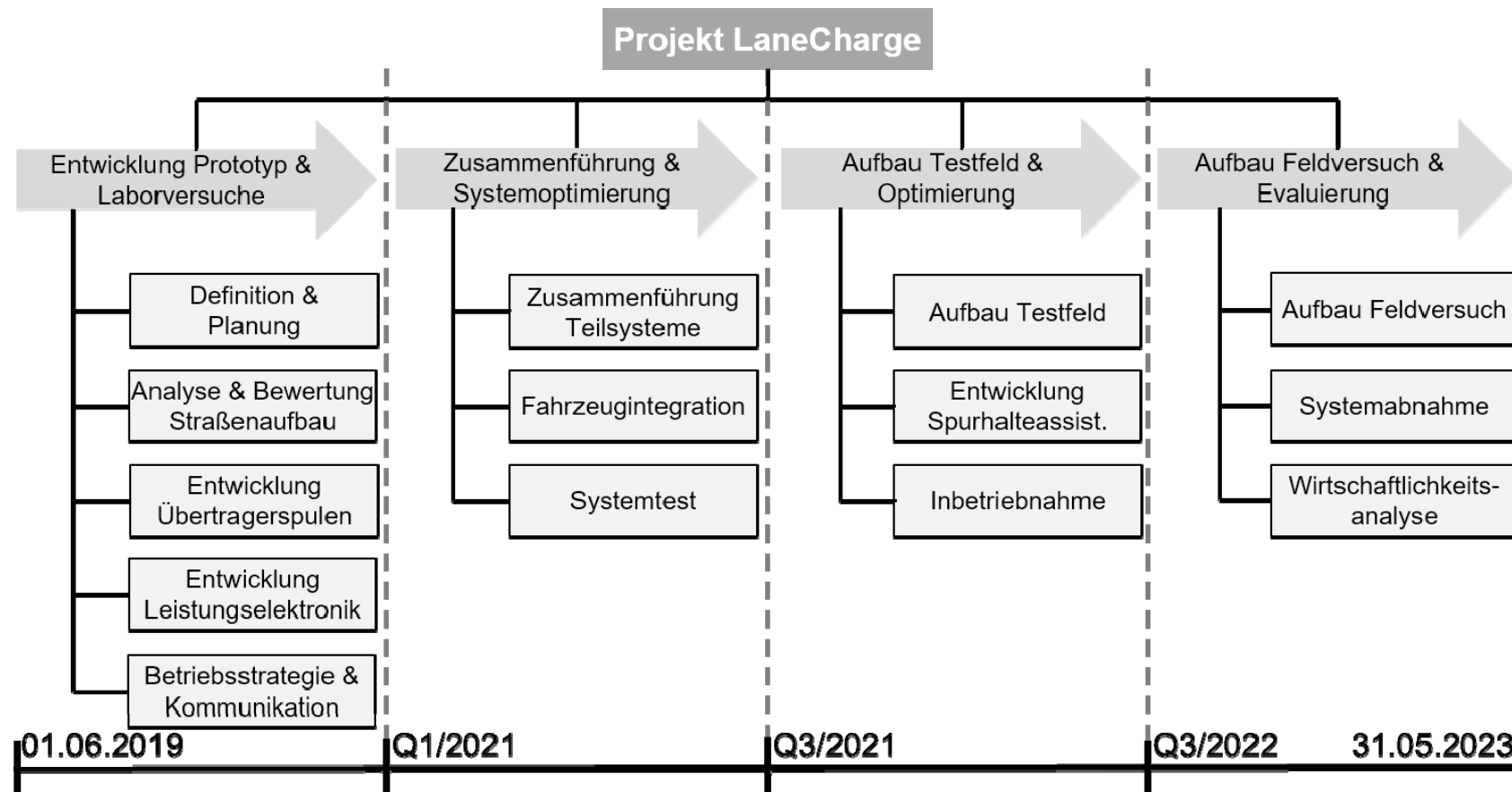
- Nachweis der Möglichkeit für die quasi-dynamischen Ladung von Elektrofahrzeugen
- Reduktion der Treibhausgas- und Luftschadstoff-Emission durch den Abbau von Elektrifizierungshemmnissen in der Taxiwirtschaft
- Etablierung der induktiven Energieübertragung im öffentlichen Raum durch die Demonstration einer robusten und sicheren Alternative zur konduktiven Ladung

- **Projektziele**

- Entwicklung einer induktiven Energieübertragungsstrecke für einen Taxistand, welche bei einer Übertragungsleistung von 3,7 kW eine inhärente Systemsicherheit aufweist
- Positionierung des Fahrzeugs für einen stationären oder quasi-dynamischen induktiven Ladevorgang ohne externe Sensorik
- Wirtschaftlichkeitsanalyse bzgl. des batterieelektrischen Elektrofahrzeugs im Taxibetrieb sowie der Energieversorgung von E-Taxen mittels induktiver Ladetechnik
- Nachweis alltagstauglicher induktiver Ladetechnologie beim Straßenbelag Asphalt

VI. Geplanter Projektverlauf

Projektstrukturplan



Eingereichter Projektstrukturplan

VI. Geplanter Projektverlauf

Fördermittelgeber



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

Projektbegleitung und Vergabe durch:



VI. Geplanter Projektverlauf

Projektpartner - Aufgaben

- **EDAG Engineering GmbH**

Entwicklung Leistungselektronik für Übertragungsspulen, Entw. Schaltmatrix, Prototypenaufbau, Systemintegration ins Fahrzeug und funktionale Prüfung des Gesamtsystems



- **Hochschule Hannover**

Projektleitung, Projektmanagement, Betriebsstrategie, Kommunikation, Entwicklung adaptive Spurführungseinheit



- **SUMIDA Components & Modules GmbH**

Spulenauslegung und -entwicklung für Einsatz im Asphalt und Fahrzeug, Entw. Kompensation, Integration und Verifikation im Asphalt und im Fahrzeug



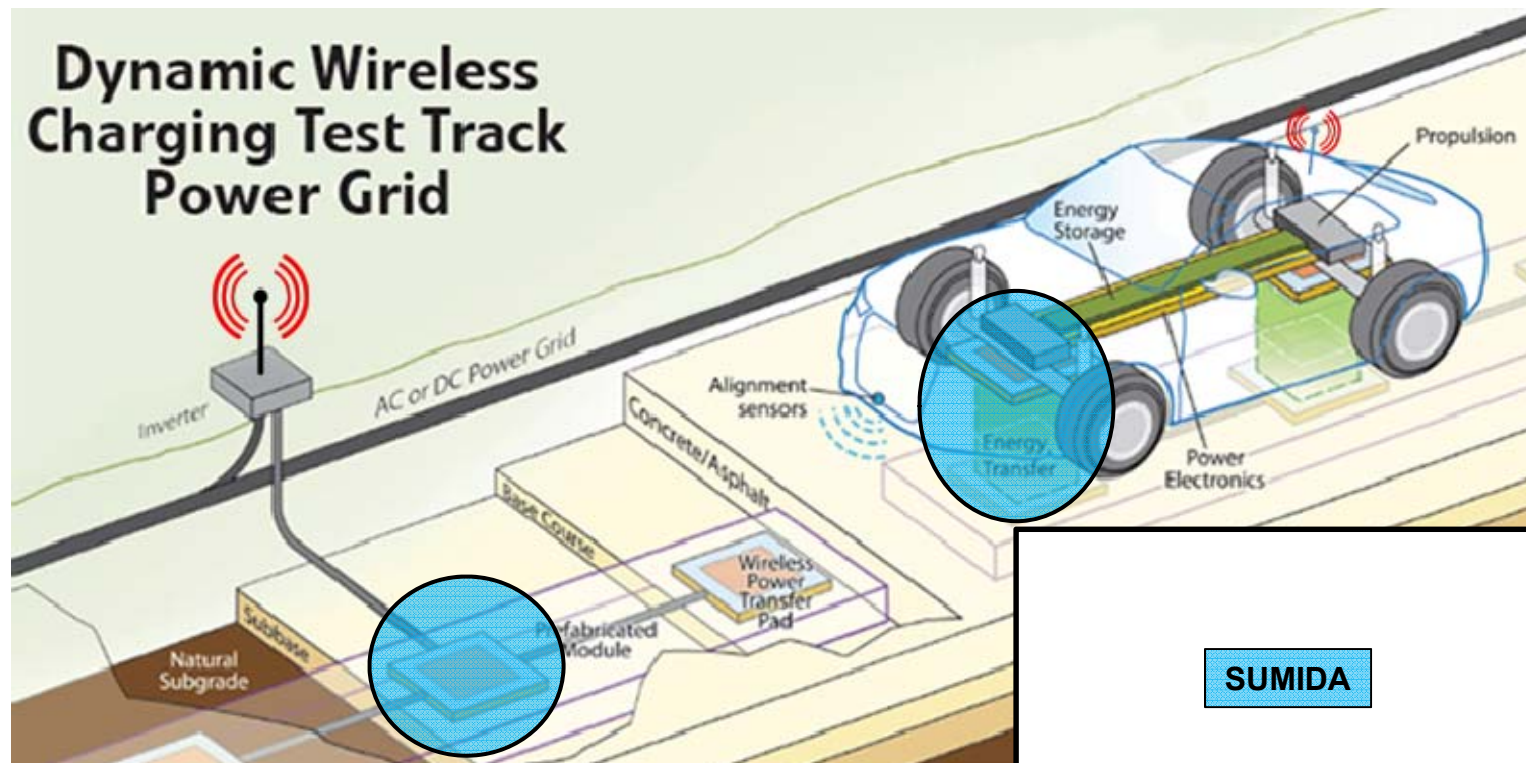
- **Technische Universität Braunschweig**

Analyse und Bewertung Straßenaufbau für optimale Integration der Primärspule, Koordination Tiefbauarbeiten



VI. Geplanter Projektverlauf

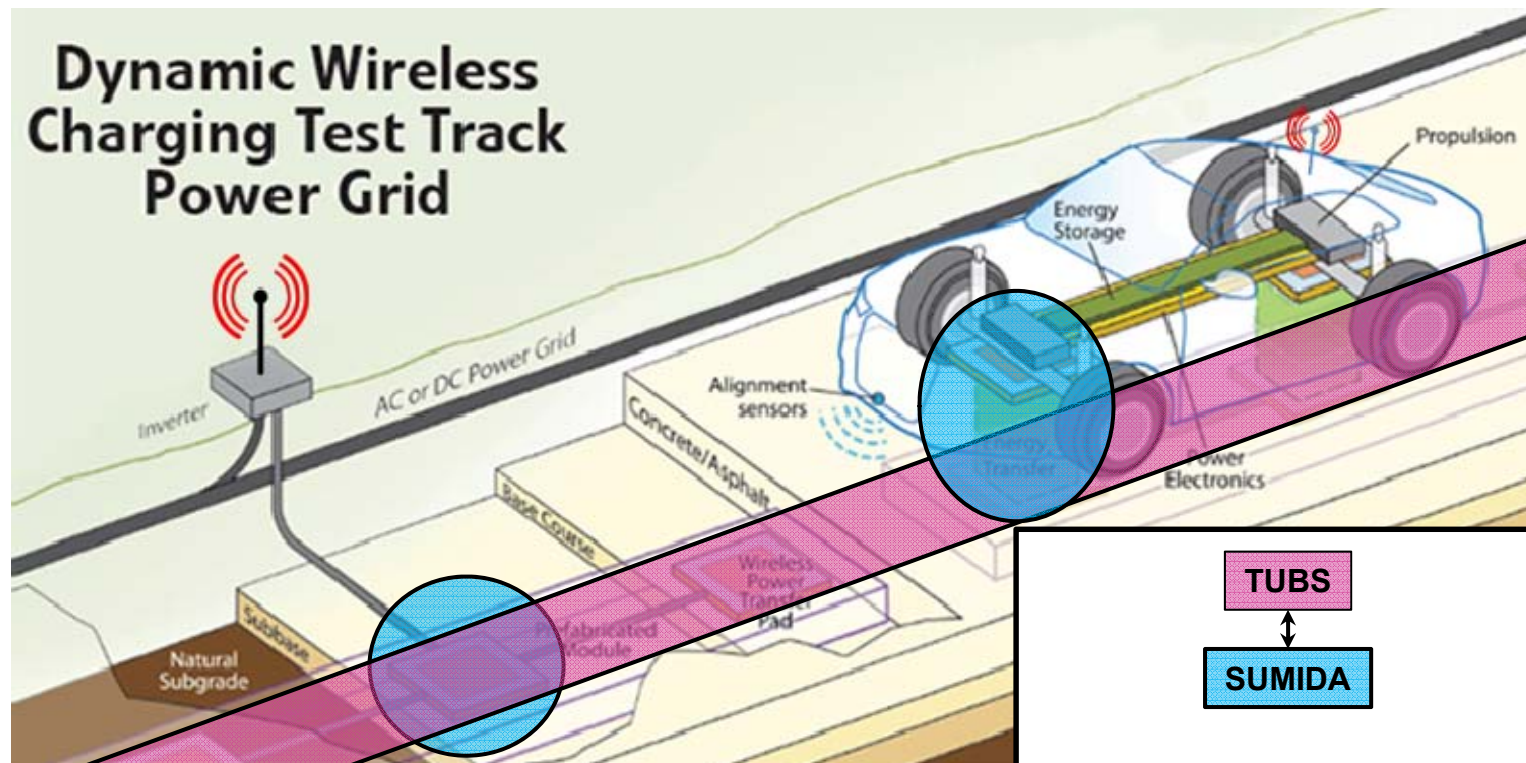
Projektpartner - Schnittstellen



Darstellung der Schnittstellen (in Anlehnung an [5])

VI. Geplanter Projektverlauf

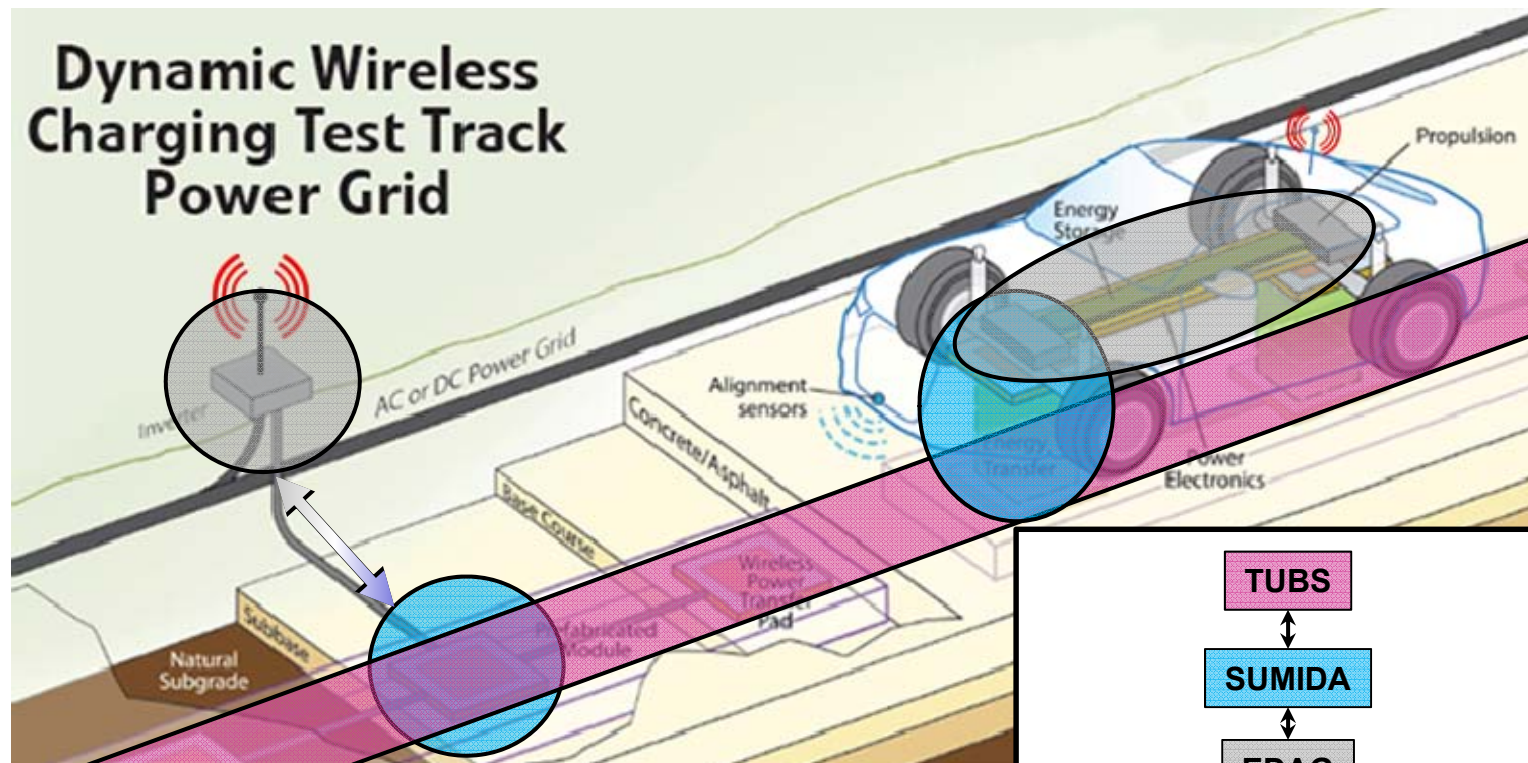
Projektpartner - Schnittstellen



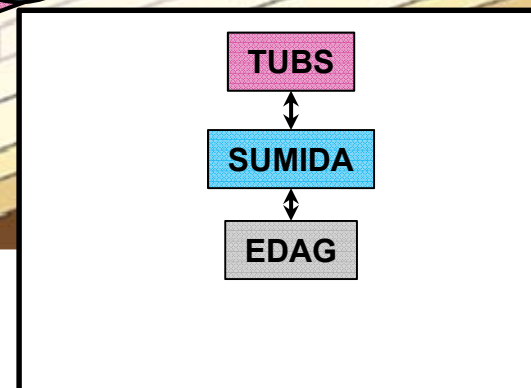
Darstellung der Schnittstellen (in Anlehnung an [5])

VI. Geplanter Projektverlauf

Projektpartner - Schnittstellen

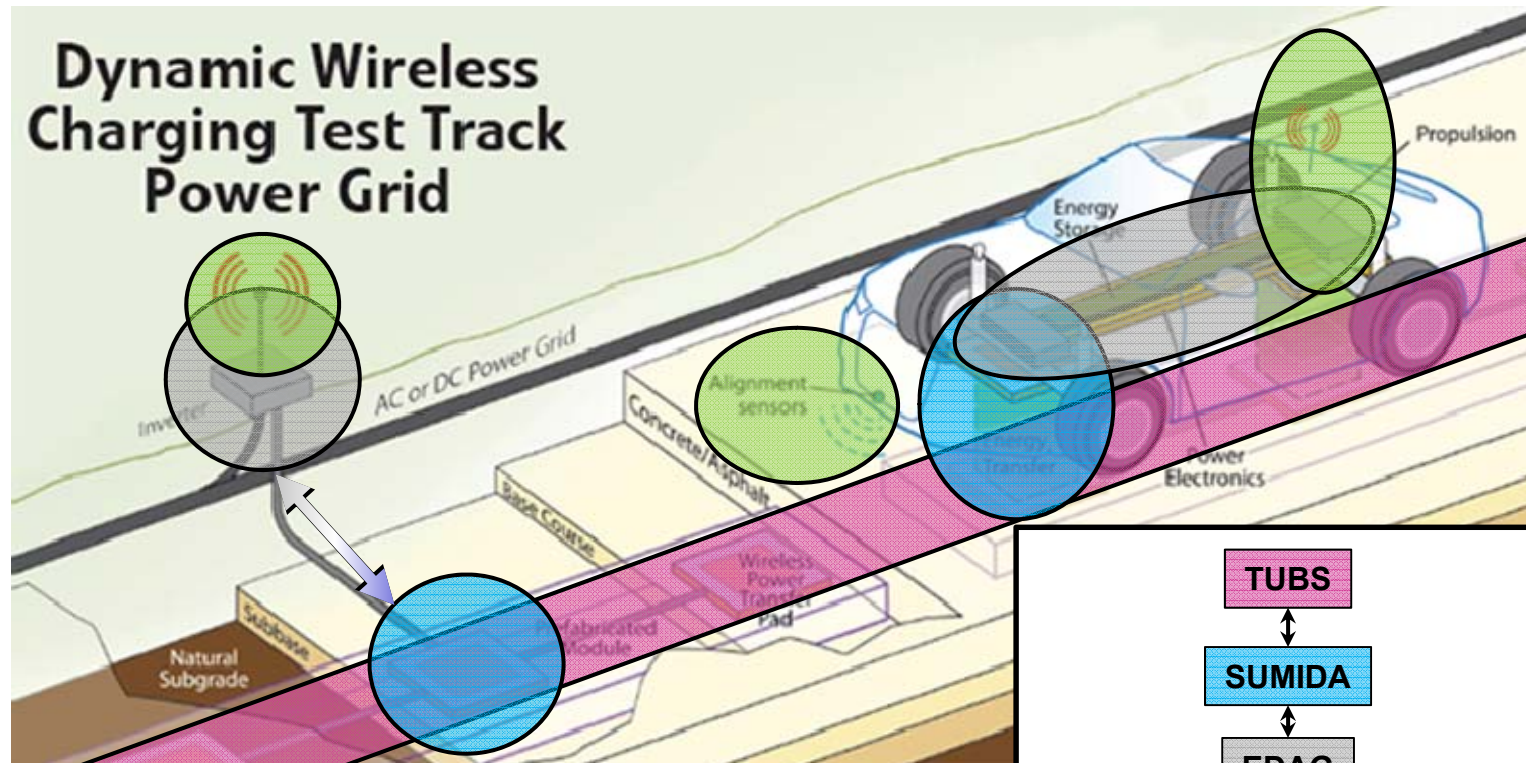


Darstellung der Schnittstellen (in Anlehnung an [5])

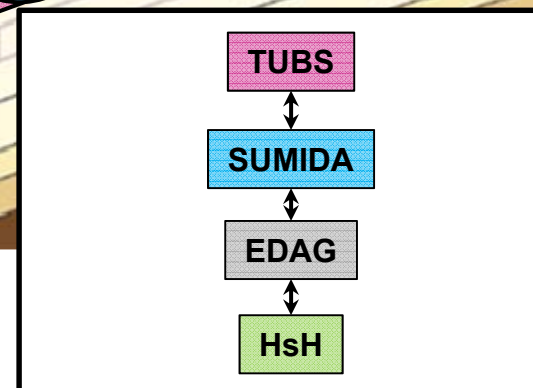


VI. Geplanter Projektverlauf

Projektpartner - Schnittstellen



Darstellung der Schnittstellen (in Anlehnung an [5])



VI. Geplanter Projektverlauf

Assoziierte Projektpartner - Aufgaben

- **enercity AG**

Energieversorgung der Ladestation, Unterstützung bei wirtschaftlicher Evaluation des Ladesystems im Anwendungsfeld

- **Götting KG**

Unterstützung bei der Entwicklung der Spurführungs- sowie der Ladepositionierungseinheit, Systemoptimierungunterstützung



- **Hallo Taxi 3811 GmbH**

Betreibt zwei umgerüstete Elektrofahrzeuge als Pool-Taxis, Unterstützung bei Testfeld Optimierung



- **Landeshauptstadt Hannover**

Stellt Taxi-Stand am Hauptbahnhof für LaneCharge Projekt zur Verfügung



VI. Geplanter Projektverlauf

Standorte in Hannover



/Google Maps/

0. Übersicht

VI. Geplanter Projektverlauf

Standorte in Hannover



1. Spulenteststandort – Ricklinger Stadtweg

VI. Geplanter Projektverlauf

Standorte in Hannover

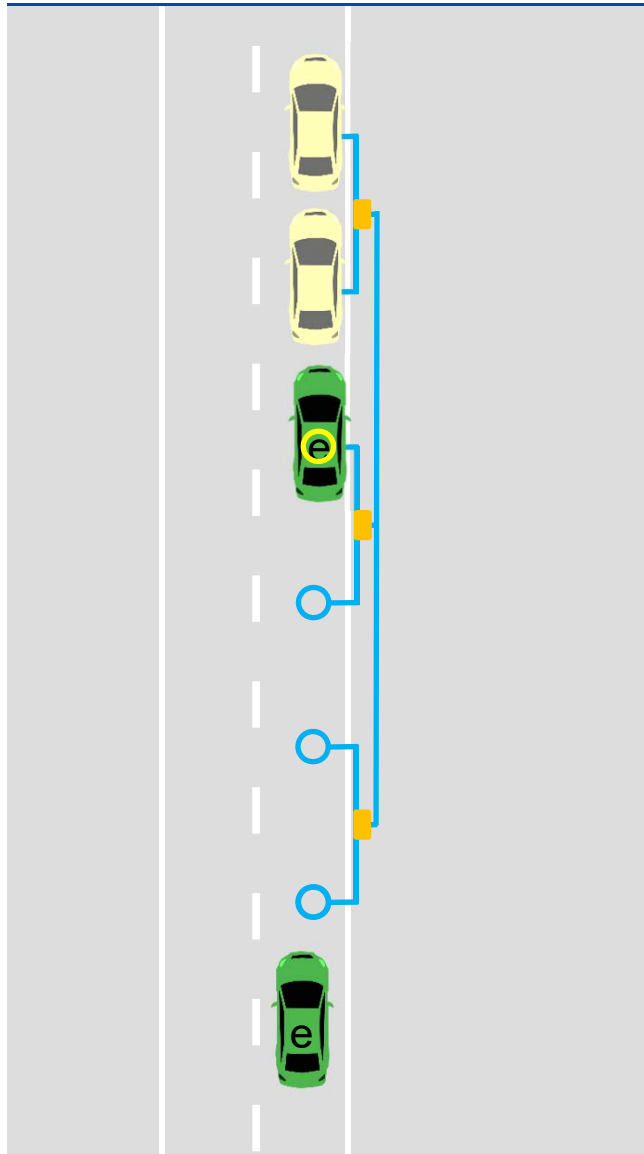


/Google Maps/

2. Semidynamische Teststrecke – Bismarckstraße

VI. Geplanter Projektverlauf

Feldversuch am Hauptbahnhof Hannover - Ablaufszenario



Ablaufszenario erstes Elektrotaxi

1. Spurvorgabe zum ersten möglichen Ladepunkt
2. Start Ladung
3. Ladung beenden
4. Spurvorgabe zum nächst möglichen Ladepunkt
5. Start Ladung

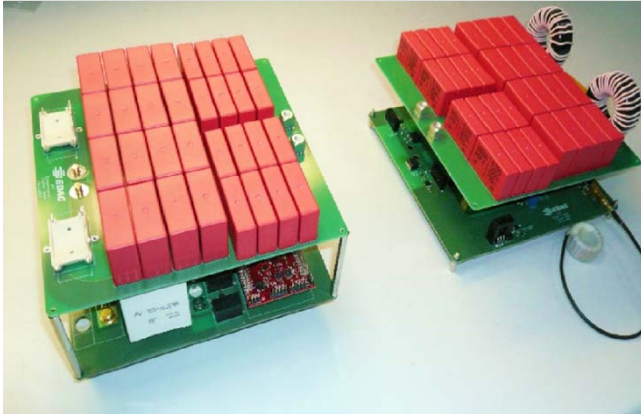
Ablaufszenario zweites Elektrotaxi

1. Spurvorgabe zum ersten möglichen Ladepunkt
2. Start Ladung

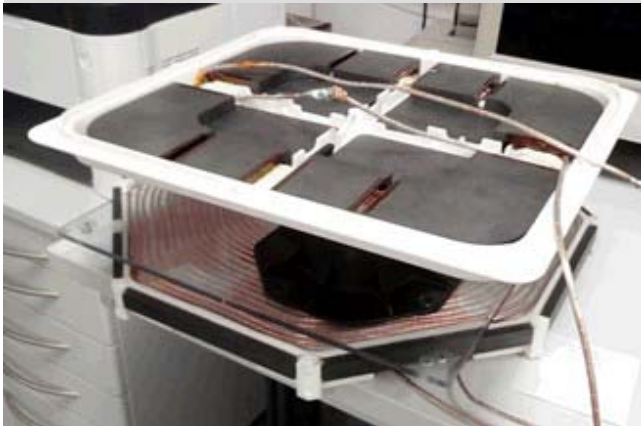
Danach kontinuierliches Nachrücken beider Elektrotaxis

VII. Aktueller Stand

Aktueller Stand



/EDAG/



/SUMIDA/

Fahrzeugbeschaffung

- Fahrzeuge sind definiert
- Beschaffung erfolgt

Aufbau Leistungselektronik

- Berechnung und Simulation des Wireless Power Transfer
- Auslegung und Schaltplanerstellung PFC
- Aufbau erster Prototyp einer primär und sekundärseitigen Leistungselektronik

Spulenentwicklung

- Erste Simulationen erstellt (Kopplung, Schaltung, Kompensation und Aufbau)
- Erste Demonstration der induktiven Leistungsübertragung an einem Laborprototypen mit 3,5kW

Analyse & Bewertung Straßenaufbau

- Optimierung der Rezeptur für den temperaturabgesenkten Gussasphalt
- Tastversuche zur schadfreien Integration der Primärspule in den Asphaltaufbau

Quellen

- [1] Umweltbundesamt (2018): NO₂-Grenzwertüberschreitungen 2017; 30.05.2018
- [2] Konerding, M. (2018): Umsetzungskonzept zur Elektromobilität in Hannover – Hannover stromert; Landeshauptstadt Hannover; 08.02.2018
- [3] Leibniz Universität Hannover (2012): Möglichkeiten zur schrittweisen, vollständigen Umstellung auf einen CO₂-neutralen Taxibetrieb in Hannover bis 2020; Studie im Auftrag von hannoverimpuls; Oktober 2012
- [4] Nindl, T. (2015): The Future of Urban Mobility is Electric & Wireless; Forum E-Mobilität „Ladeinfrastruktur für Städte und Kommunen“; Regensburg; 09.06.2015
- [5] Echols, A.; Mukherjee, A.; Mickelsen, M.; Pantic, Z. (2017): Communication Infrastructure for Dynamic Wireless Charging of Electric Vehicles; Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), 2017 IEEE; San Francisco; 19-22 März 2017
- [6] ISUP (2015): Gutachten gemäß § 13 Abs. 4 PBefG über die Funktionsfähigkeit des Taxigewerbes in der Landeshauptstadt Hannover; Dresden; 25.08.2015
- [7] Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) (2017): Die Deutsche Normungs-Roadmap Elektromobilität 2020 AG 4 – Normung, Standardisierung und Zertifizierung; Berlin; April 2017

Vielen Dank für
Ihre
Aufmerksamkeit!

