

Berührungsloses induktives Laden in ÖPNV und Individualverkehr

Motivation

Im Bereich des öffentlichen Personennahverkehrs wird die Traktionsenergie bei Straßenbahnen und Oberleitungsbusen über Oberleitungen zugeführt. Ein wesentlicher Nachteil dieser Fahrleitungen ist die Störanfälligkeit durch Schnee, Regen und Vereisungen und durch Verunreinigungen zwischen Stromabnehmer und Fahrleitung, sowie mechanischer Verschleiß. Hier bietet sich die induktive, berührungsfreie Energieübertragung an, die verschleiß- und wartungs-

deren spielt die übertragbare Ladeleistung eine große Rolle. Das bisherige konduktive Laden der Elektrofahrzeuge über ein Ladekabel an Haushaltssteckdosen ist unhandlich und wird bei schlechten Witterungsbedingungen durch Schmutz und Nässe erschwert.

Die berührungslose Energieübertragung und die hohe Ladeleistung bringen für den Fahrzeugnutzer eine deutliche Steigerung des Komforts beim Ladevorgang und gleichzeitig eine erheblich reduzierte Ladezeit (Abb. 1).

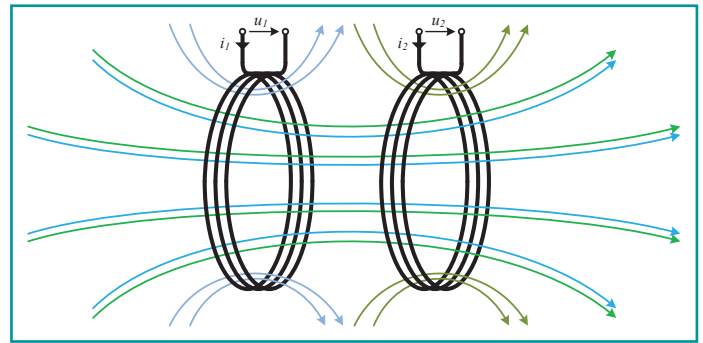


Abb. 2: Magnetisch gekoppelte Spulen als Basis induktiver Energieübertragungssysteme

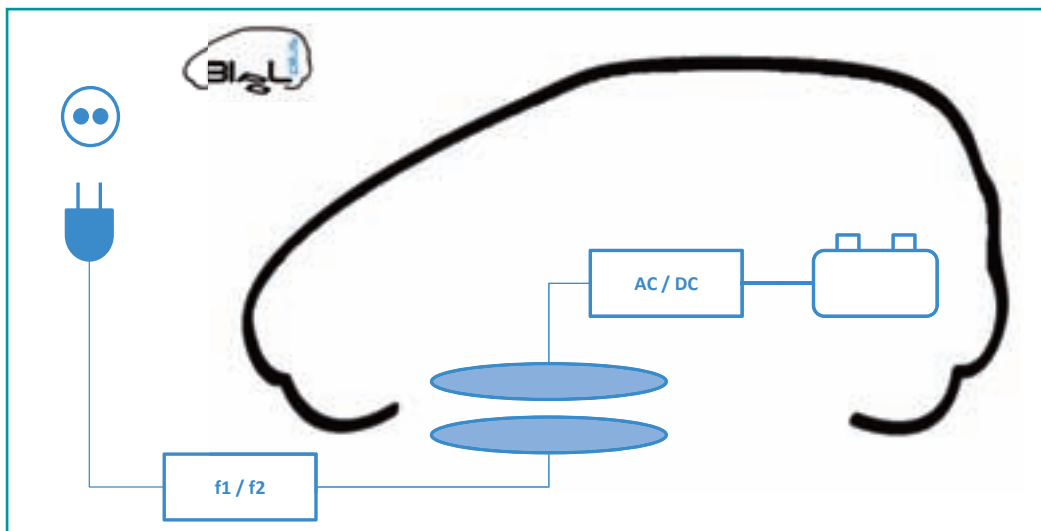


Abb. 1: Induktives Laden der Traktionsbatterie eines Elektrofahrzeugs

arm ist. Zudem wird durch den Wegfall der Oberleitungen das Stadtbild nicht gestört, beispielsweise in historischen Altstädten oder vor denkmalgeschützten Gebäuden.

Im Individualverkehr wird ein Fahrzeug mit Verbrennungsmotor bisher nur wenige Male im Monat betankt – für ein batterieelektrisches Fahrzeug ist jedoch eine deutlich häufigere Aufladung nötig. Vor diesem Hintergrund gewinnt zum einen der eigentliche Ladevorgang an Bedeutung, zum an-

Funktionsprinzip

Mit zwei magnetisch gekoppelten Spulen als Kernelemente sind Systeme zur induktiven Energieübertragung mit einem Transformator vergleichbar. Der wesentliche Unterschied zum klassischen Transformator liegt lediglich im fehlenden geschlossenen Eisenkern, was die berührungslose Übertragung erst ermöglicht (Abb. 2). Während die eine Spule in aller Regel im ortsfesten Teil des Betriebsmittels verbaut ist, liegt die zweite Spule im bewegli-

chen Teil des Betriebsmittels. Die Energie wird üblicherweise aus dem speisenden elektrischen Netz von der ortsfesten

Ausführung des Übertragungssystems im Vergleich zu einem System mit klassischem Transformator. Aufgrund der fehlenden hochpermeablen Werkstoffe im Flusspfad sind die Streufeldanteile vergleichsweise groß, was mit einer losen magnetischen Kopplung der beiden Spulen einher geht. Praktische Ausführungen erreichen Kopplungsgrade bis etwa 0,6 [3]. Die dadurch vergleichsweise klein ausfallende Koppelinduktivität der beiden Spulen erfordert einen Betrieb bei wesentlich höheren Frequenzen. Abhängig vor allem von den eingesetzten Leistungshalbleitern der primärseitig speisenden Stromrichterbaugruppe sind Frequenzen von 20 kHz bis weit über 100 kHz üblich. Mit den hohen Betriebsfrequenzen treten an den Selbstinduktivitäten der beiden Spulen unerwünscht hohe Spannungsabfälle auf, die mit Kondensatoren statisch kompensiert werden (Abb. 3).

zur beweglichen Seite hin übertragen, weshalb die ortsfeste Seite meist als Primär- und die bewegliche Seite als Sekundärseite bezeichnet wird.

Der fehlende geschlossene Eisenkern im gemeinsamen magnetischen Flusspfad der beiden Spulen hat wesentliche Konsequenzen auf die praktische

Die Kondensatoren für die statische Kompensation werden im einfachsten Fall primär- und sekundärseitig in Reihe zur Spule geschaltet. Sie werden in al-

$$\underline{U}_1 = R_1 \cdot \underline{I}_1 + j\omega L_1 \underline{I}_1 + j\omega M \underline{I}_2 + \frac{1}{j\omega C_1} \underline{I}_1 \Rightarrow \underline{U}_1 = R_1 \cdot \underline{I}_1 + j\omega M \underline{I}_2$$

$$\underline{U}_2 = R_2 \cdot \underline{I}_2 + j\omega L_2 \underline{I}_2 + j\omega M \underline{I}_1 + \frac{1}{j\omega C_2} \underline{I}_2 \Rightarrow \underline{U}_2 = R_2 \cdot \underline{I}_2 + j\omega M \underline{I}_1$$

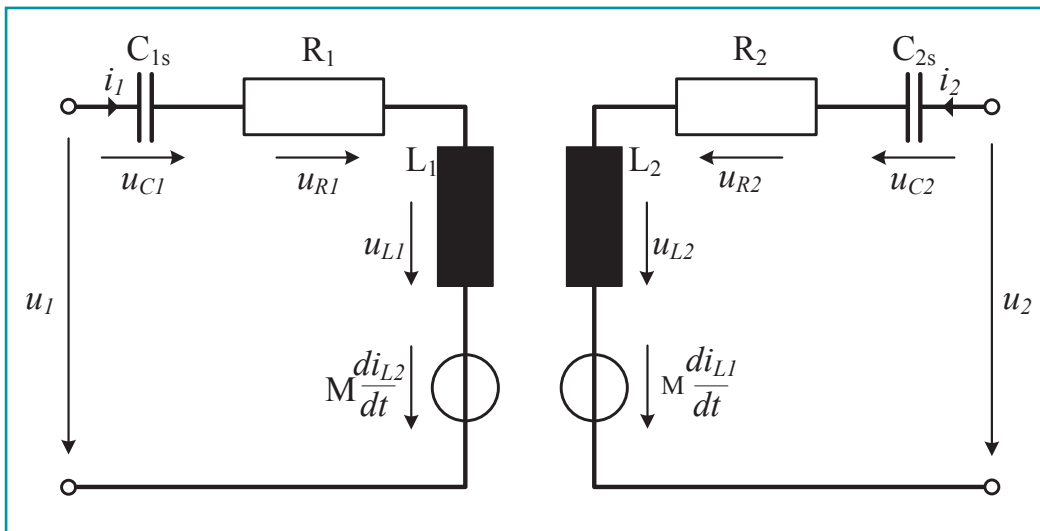


Abb. 3: Elektrisches Ersatzschaltbild mit konzentrierten Parametern und statischer Kompensation

ler Regel so ausgelegt, dass sie die Spannungsabfälle über den Selbstinduktivitäten vollständig kompensieren.

Aktuelle Herausforderungen

Die bisher im Alltag eingesetzten Systeme mit induktiver Energieübertragung arbeiten vorwiegend mit kleinen Leistungen und kleinen Luftspalten zwischen den Spulen. Für die bereits genannten Anwendungsfälle im Fahrzeugbereich sind innovative Lösungen erforderlich, da hier deutlich höhere Leistungen (22 kW-220 kW) und größere Luftspalte (bis 160mm) auftreten.

Durch die großen Luftspalte ist das magnetische Feld, das sich weit über den Spulenbereich hinaus erstreckt, ein wichtiger Faktor. Hier gilt es, strenge Grenzwertvorgaben einzuhalten, um die elektromagnetische Verträglichkeit sowohl im Fahrzeuginneren als auch im direkten Umfeld des Fahrzeugs für Personen und Lebewesen sicherzustellen. Eine weitere Herausforderung ist die Identifikation von Fremdkörpern wie beispielsweise Lebewesen oder metallische Objekte im Luftspalt zwischen den Spulen bei laufendem Betrieb.

Nicht zuletzt sind die Anforderungen an die Positionier-

genauigkeit des Fahrzeugs über dem ortsfest installierten Teil des Systems von Bedeutung: Lagefehler bei der Positionierung der ortsveränderlichen Sekundärseite über der Primärseite beeinträchtigen die Leistungsfähigkeit des Systems signifikant. Insbesondere wenn bei der konstruktiven Ausführung der Spulensysteme hochpermeable Werkstoffe zum Einsatz kommen, wirken sich Positionierungsfehler nebst einer Leistungseinbuße mit der Ursache verringerter Kopplung auch stark auf die statische Kompensation des Systems aus. Um einen einfachen Parkvorgang des Fahrzeugs ohne spezielle Assistenzsysteme zu ermöglichen, müssen die Systeme für eine große Positionierungstoleranz ausgelegt werden.

Forschung am Lehrstuhl für Bahnsystemtechnik

Aktive Kompensation

In der Anwendung induktiver Energieübertragungstechnik bei Bus und Bahn im öffentlichen Verkehrsegment sind die Leistungsanforderungen an das Übertragungssystem deutlich höher, was auch die Einhaltung von Grenzwerten elektromagnetischer Felder im direkten Umfeld des Fahrzeugs erschwert. Diese Problematik kann weitgehend mit konstruktiven Ansätzen reduziert werden, indem symmetrisch betrie-

bene und mehrphasig ausgeführte Systeme eingesetzt werden.

Leistungsfähigkeit und Effizienz des Energieübertragungssystems unterliegen dennoch stark den großen Schwankungsbreiten aller Einflussfak-

toren. Ein wesentlicher Einflussfaktor ist beispielsweise die Positionierung des Fahrzeugs und damit der Sekundärspule über der wegseitig installierten Primärspule.

Am Lehrstuhl für Bahnsystemtechnik werden aktive Systemstrukturen untersucht, die den Einbußen im laufenden Betrieb effektiv entgegenwirken können.

BIPoL^{plus}

Gegenstand der Forschung im Projekt BIPoL^{plus} ist die berührungslose Schnellladung mit einer Ladeleistung von 22 kW. BIPoL^{plus} wird im Rahmen des Spitzenclusters „Elektromobilität Süd-West“ durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. Acht Projektpartner aus Wirtschaft und Wissenschaft arbeiten gemeinsam an der Realisierung des Projektes^[2].

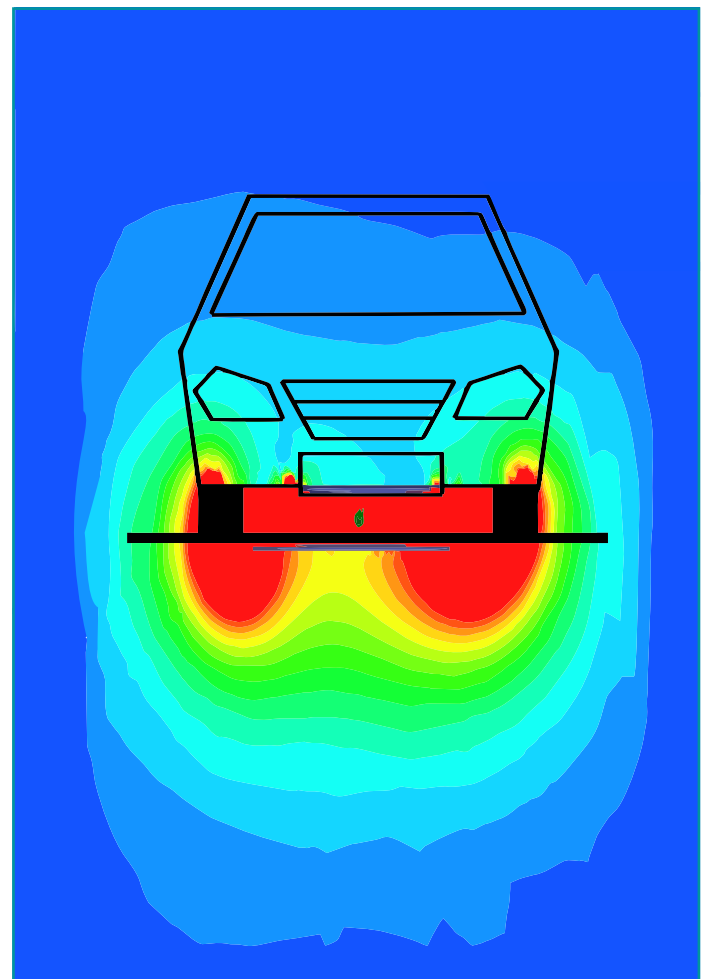


Abb. 4: Darstellung des magnetischen Feldes in der direkten Fahrzeugumgebung

Der Schwerpunkt der Forschungsarbeiten am Lehrstuhl für Bahnsystemtechnik liegt auf der simulativen Auslegung der beiden Spulen. Durch ein optimiertes Spulendesign wird ein 22 kW-Übertragungssystem entwickelt, das sowohl eine gute Kopplung als auch eine hohe Positionierungstoleranz aufweist. Mit diesem Spulendesign müssen die aktuellen elektromagnetischen Grenzwerte im Inneren und im direkten Umfeld des Fahrzeuges eingehalten werden (Abb. 4). Des Weiteren wird ein interoperabler Betrieb von unterschiedlichen Spulensystemen realisiert. So sollen Fahrzeuge mit verschiedenen Spulensystemen und Leistungsklassen auf jeglichen verfügbaren Ladestationen geladen werden können.

Zusammenfassung

Im Vergleich zum kabelgebundenen Laden wird beim berührungslosen induktiven Laden bisher ein geringerer Wirkungsgrad erreicht. Die Gestehungskosten für die induktive Ladetechnologie werden auch in absehbarer Zeit über den Kosten für konduktive Ladesäulen liegen. Diese sind in den teuren Hochfrequenz-Bauteilen der Leistungselektronik und in den notwendigen Materialien zur Magnetfeldführung begründet^[3].

Dennoch wird in Zukunft das induktive Laden eine große Rolle für die Entwicklung der Elektromobilität spielen. Während bisher ein Kraftfahrzeug nur wenige Male im Monat betankt werden muss, ist für ein batterieelektrisches Fahrzeug eine häufige Aufladung vonnöten. Damit wird der Ladevorgang zu einem wesentlichen Faktor für die Akzeptanz von Elektrofahrzeugen und die Ladetechnik zu einer Schlüsseltechnologie^[4].

Ein weiterer Vorteil der induktiven Ladetechnologie ist, dass der Primärteil fest im Boden unter der Fahrbahn verbaut ist. So können sowohl Vandalismus-

Schäden an den Ladestationen als auch Unfälle beim Handling mit dem Kabel ausgeschlossen werden. Zudem entfallen Ladesäulen und Oberleitungen, die das Stadtbild stören.

Quellen

^[1] D. Huwig, P. Wambsganss: Modulares Plattformkonzept für die kontaktlose Übertragung von Energie und Daten. RRC power solutions GmbH, 2006.

^[2] e-mobil BW GmbH: <http://www.emobil-sw.de/de/aktivitaeten/aktuelle-projekte/projektetails/BIPoLplus-Beruehrungsloses-induktives-und-positionstolerantes-Laden.html>, abgerufen am 02.02.2014

^[3] Induktives Laden von Elektromobilen – Eine techno-ökonomische Bewertung, Working Paper Sustainability and Innovation No. S 8/2010. Schraven, Sebastian; Kley, Fabian; Wietschel, Martin. Fraunhofer ISI.

^[4] JUSTPARK: Begleitforschung zum kabellosen Laden von Elektrofahrzeugen. Abschlussbericht im Rahmen des FuE-Programms „Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität“ des BMU.

*M.Sc. Rinaldo Arnold,
Dipl.Ing. Katharina Knaisch,
Prof. Dr.-Ing. Peter Gratzfeld*

*Lehrstuhl für
Bahnsystemtechnik
Institut für
Fahrzeugsystemtechnik
Karlsruher Institut
für Technologie (KIT)
www.bahnsystemtechnik.de*

Kompetenz, die weiterbringt



TSI · EN · ISA · RAMS
EG-Prüfung · ETCS
Zulassung · LST

TÜV NORD Bahntechnik unterstützt Sie u. a. mit:

- Software-Begutachtung
- Sicherheitsanalysen
- EG-Konformitätsbewertungen
- Professioneller Leitung durch nationale und europäische Zulassungsprozesse
- Gesamtheitlicher Begleitung von Projekten

Profitieren Sie von:

- Langjähriger Erfahrung
- Der benannten Stelle (NoBo) TN Lux
- Anerkannten EBA-Sachverständigen
- Neutralität und Unabhängigkeit

Kontakt: verkehr.schiene@tuev-nord.de

www.tuev-nord.de

