

# Elektromobilität

Fachmedium für professionelle Automobilelektronik



Elektrifizierungstrend:

## NXP bietet Entwicklungsplattform Greenbox

>> Seite 32

Rückblick auf  
E-Mobility-Forum  
der PCIM  
>> Seite 10

Maßnahmen  
gegen den  
Thermal Runaway  
>> Seite 22

Performance-Up-  
grade für induktive  
Ladesysteme  
>> Seite 28



Über  
8,1 Millionen  
Produkte Online

**DIGIKEY.DE**



(Bild: Finepower)

Performance-Upgrade für induktive Ladesysteme:

# Optimale Energieübertragung

**Induktives Laden geht im Vergleich zur Variante Ladekabel und Steckverbinder mit einem erheblichen Komfortgewinn einher. Das ist allerdings nicht der einzige Vorteil. Mit der Entwicklung eines universellen induktiven Ladesystems im Rahmen des Forschungsprojekts UnIndCha zeigt Finepower, wie sich eine optimale Energieübertragung erreichen lässt.**

## Projektbeschreibung und Ziele

Eines der Hauptziele bei der Entwicklung eines universellen induktiven Ladesystems ist es, eine möglichst hohe Toleranz in der Fahrzeugposition zuzulassen. Sollen unterschiedliche Fahrzeugtypen induktiv geladen werden, lassen sich allein schon wegen der Fahrzeugabmessungen, aber vor allem auch der unterschiedlichen Empfänger- und Spulengeometrien und -Konfigurationen unterschiedliche Positionierungen von stationsseitiger und fahrzeugseitiger Spule zueinander nicht vermeiden.

Ein weiterer Grund für eine möglichst hohe Positionierungstoleranz ist die Tatsache, dass es vor allem an öffentlichen Ladepunkten durch eine zeitlich begrenzte Park- oder auch nur Halte-dauer oft nicht möglich ist, das Fahrzeug exakt zu positionieren. Das aber ist notwendig, um eine optimale Energieübertragung zu ermöglichen, sei es durch ein elektronisches Park-Positionierungssystem oder manuelles

Von Georg Heiland und Christoph Ziegler

**A**ktuell sind induktive Ladesysteme für elektrische Fahrzeuge Gegenstand der Erforschung, Entwicklung und Standardisierung. Typische Anwendungsbeispiele sind das kontaktlose Nachladen von Flurförderfahrzeugen im industriellen Bereich sowie Elektrofahrzeugen im Straßenverkehr. Unterschiedliche Systemeigenschaften der Fahrzeuge wie Bodenfreiheit, Batteriespannungen, Spulengeometrien oder Stromtragfähigkeit haben zur Folge, dass gegenwärtig jeder Hersteller eine

individuell für eine jeweilige Fahrzeugflotte entwickelte induktive Ladeeinheit anstrebt. Eine induktive Ladestation mit der Fähigkeit, eine möglichst hohe Anzahl unterschiedlicher Fahrzeugtypen mit entsprechend unterschiedlichen Empfänger- und Batteriesystemen zu bedienen wird aktuell bei Finepower im Rahmen des vom bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft & Medien (StMWi) geförderten Forschungsprojekts UnIndCha, kurz für Universal Inductive Charging, aufgebaut.

Rangieren, was die ohnehin schon begrenzt verfügbare Ladezeit weiter reduziert. Ein System für die Park-Positionierung verursacht außerdem zusätzliche Kosten in der Anschaffung eines elektrisch angetriebenen Fahrzeugs. Zudem kann ein solches Positionierungssystem ausfallen, was zu einem erheblichen zeitlichen Mehraufwand für den Fahrer führen würde oder aber einen induktiven Ladevorgang gänzlich verhindert.

Durch die Umsetzung der oben genannten Ziele ist der Einsatz einer solchen Ladestation an herkömmlichen Tankstellen, öffentlichen Plätzen wie Parkhäusern in Einkaufszentren, Flughäfen, Bahnhöfen, aber auch zur Kurzzeit-Zwischenladung beispielsweise an roten Ampeln oder Autobahn-Raststätten denkbar. In solchen Fällen ist zwar aufgrund der geringen Dauer der Energieübertragung keine vollständige Aufladung des Batteriespeichers möglich. Allerdings erhöht das die Reichweite der Fahrzeuge ohne einen zeitlichen Zusatzaufwand des Fahrers, weil all diese Standzeiten unabhängig vom Ladebedarf des Fahrzeugs entstehen. Da aufgrund der begrenzten Aufenthaltsdauer sowieso kein vollständiges Laden möglich ist, kommt es besonders darauf an, den Ladevorgang möglichst schnell und unkompliziert zu starten, selbst wenn das eine Leistungseinbuße in der induktiven Übertragung darstellen könnte.

Folgende Übersichtsrechnung soll verdeutlichen, welche Leistungsübertragung bei geringen Standzeiten und schlechter Positionierung zu erwarten ist: Ein Fahrzeug steht auf einer Autobahn-Raststätte. Die Parkdauer soll zehn Minuten betragen. Wird beispielsweise

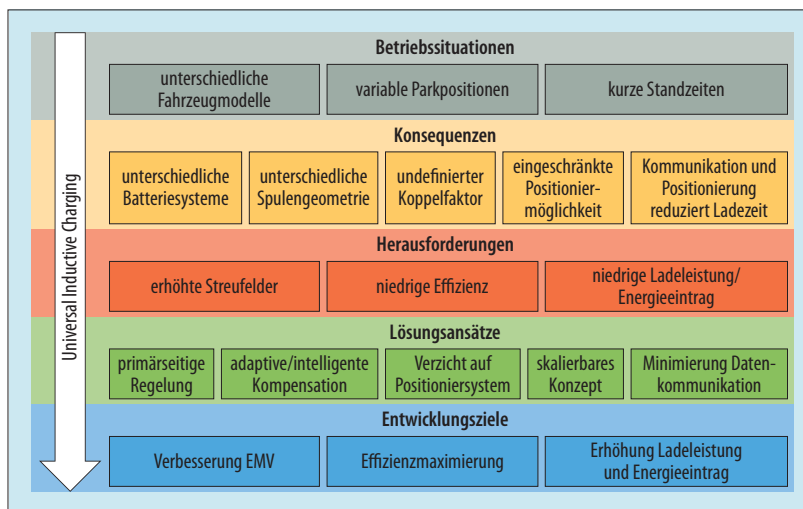


Bild 1. Zu erwartende Betriebs-situationen, Herausforderungen, Lösungsansätze und Entwicklungsziele bei Verwendung und Optimierung eines universellen induktiven Ladesystems. (Quelle: Finepower)

eine Ladestation mit einer Nennleistung von 22 kW vorgesehen und das Fahrzeug kommt versetzt zur Sendespule zum Stehen, soll angenommen werden, dass noch eine Ladeleistung von 10 kW möglich ist. Das ergibt bei der angenommenen Standzeit noch einen Energieeintrag von ca. 1,7 kWh in das Fahrzeug. Bei einer Gesamtkapazität einer typischen Fahrzeugbatterie von 30 kWh entspricht das etwa 5,7 Prozent Nachladung, bei einer angenommenen Gesamtreichweite von 150 km wären das etwa 8,5 km. Kommt das Fahrzeug hingegen optimal zum Stehen, wäre immerhin schon eine Nachladung von 11,4 Prozent oder 17 km möglich.

Technisch spricht nichts dagegen, noch höhere Ladeleistungen zu installieren. Die Standzeit in anderen Fällen wie beim Einkaufen oder Ähnlichem liegt sogar wesentlich höher, im Bereich von 30 Minuten bis einigen Stunden,

sodass sich hierdurch nach obigem Beispiel schon Nachlademengen von 17,1 Prozent (30 Minuten) bis 68,4 Prozent (zwei Stunden) bzw. 25 km (30 Minuten) bis 100 km bei schlechter Parkposition ergeben würden. Jedoch immer mit dem Grundgedanken, dass für den Fahrer keine zusätzlichen Aufgaben entstehen, außer der Suche nach einem geeigneten Parkplatz, und ein- und dieselbe Ladestation für eine Vielzahl von unterschiedlichen Fahrzeugtypen zum Einsatz kommen kann. Bild 1 veranschaulicht die Betriebs-situationen und Herausforderungen beim induktiven Laden sowie die Lösungsansätze und Ziele des Verbundvorhabens.

Um die Varianz der Positionierung auszugleichen oder zu vermeiden, wurden bisher aufwendige Verfahren eingesetzt, um die Spulenpositionen zueinander immer möglichst optimal und konstant zu halten. Genannt seien

# Serie AGP4233 Leistungsinduktivitäten: Gemacht für höchste Leistung

Coilcraft

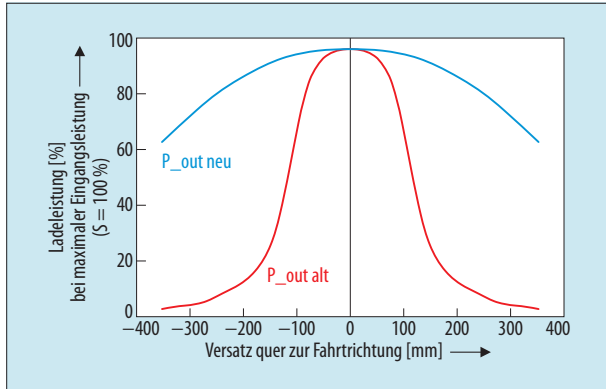


Hoher Strom ... bis zu 59 Ampere  
Hohe Induktivität ... bis zu 470 µH  
Hohe Temperatur ... AEC-Q200 (+125°C)



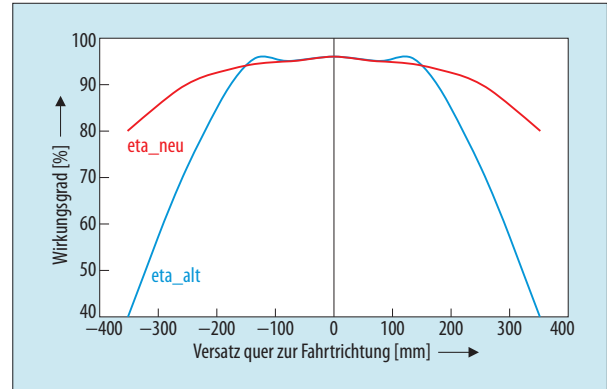
Muster Gratis!

www.coilcraft.de



**Bild 2.** Zu erwartende Ladeleistung eines fiktiven Spulensystems bei konstanter (maximaler) Eingangsleistung. Die beiden Kurven zeigen die Ausgangs- bzw. Ladeleistung ohne (rot) und mit (blau) adaptiver Kompensation. Bei einem fest abgestimmten System (alt) sinkt die Ladeleistung mit steigendem Versatz zwischen Sende- und Empfängerspule sehr schnell ab, was bedeutet, dass die Eingangsleistung erhöht werden müsste, um dieselbe Ausgangsleistung bereitstellen zu können.

(Quelle: Finepower)



**Bild 3.** Wirkungsgrad eines fiktiven Spulensystems ohne (blau) und mit (rot) adaptiver Kompensation bei konstanter (maximaler) Eingangsleistung. Die Effizienz der Leistungsübertragung sinkt zusätzlich bei hohem Versatz, da sich dann die Resonanzeigenschaften derart stark ändern, dass die herkömmlichen Regelmöglichkeiten (Frequenzanpassung, Erhöhen der Eingangsspannung) nicht mehr ausreichen und durch hohe Blindströme hohe ohmsche Verluste in den Halbleitern und Wicklungen entstehen. Die adaptive Kompensation ist sehr vielversprechend.

(Quelle: Finepower)

hier nur die Stichworte „Laden über Nummernschild“ oder „Positionierungssystem“. Auch wenn in diesen Fällen gewisse Positionstoleranzen zugelassen wurden, war eine erhebliche Leistungseinbuße die Folge. Eine rein elektronische Kompensation dieser variablen Position bzw. Streuinduktivität stellt einen völlig neuen Ansatz dar und ist ein Ziel dieses Forschungsvorhabens.

Kern der Erforschung bildet die Realisierung einer einstellbaren Kapazität im primären Spulenkreis, die als adaptive Kompensation bezeichnet wird. Grundgedanke dabei ist, dass bei unterschiedlichen Positionierungen von Primär- und Sekundärspulen, sei es durch versetztes Parken oder unterschiedliche Fahrzeugtypen, sowie durch unterschiedliche Batteriespannungen und Übertragungsleistungen die Resonanzeigenschaften des Ladesystems variieren. Durch die einstellbare Kapazität kann dem entgegengewirkt werden. Folgende Ziele, Ansatzpunkte und Eigenschaften dieses Forschungsvorhabens stellen einen wesentlichen Unterschied und Fortschritt im Vergleich zu den bisherigen Lösungsansätzen dar:

- Verzicht auf eine zeit- und kostenintensive Positionierung
- Intelligente / adaptive Kompensation
- Induktive Ladung unterschiedlichster Fahrzeugtypen
- Minimierung des Kommunikationsaufwands
- Erhöhung des Versatzbereichs durch:
  - o Erhöhung der übertragbaren Wirkleistung

- o Wirkungsgraderhöhung im Versatzbereich

### Voruntersuchungen

Die **Bilder 2 und 3** zeigen das Ergebnis einiger qualitativer Voruntersuchungen anhand eines fiktiven Spulensystems – um die grundsätzliche Idee der adaptiven Kompensation zu unterstreichen. Dargestellt ist auf der Rechtsachse jeweils der Positionsversatz. Die beiden Kurven zeigen jeweils die zu erwartende Performanz bei Nennleistung auf der Primärseite, ohne (alt) und mit adaptiver Kompensation (neu). Bild 2 zeigt, dass bei steigendem Versatz die Ladeleistung bei einem fest abgestimmten System schnell absinkt, was bedeutet, dass die Eingangsleistung erhöht werden müsste, um dieselbe Ausgangsleistung bereitstellen zu können. Das ist jedoch verbunden mit einer Überdimensionierung der elektronischen Komponenten und damit einer Preissteigerung und Effizienz-einbußen.

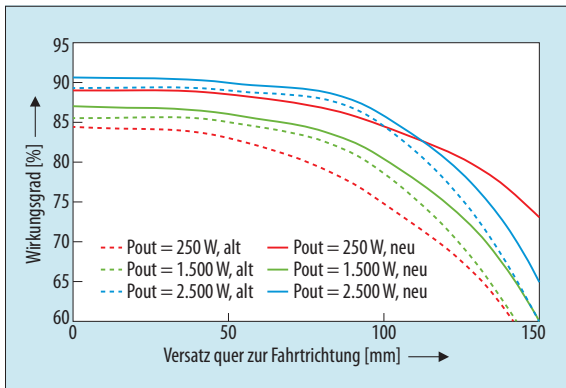
Die Effizienz der Leistungsübertragung sinkt zusätzlich bei hohem Versatz, weil sich dann die Resonanzeigenschaften derart stark ändern, dass die herkömmlichen Regelmöglichkeiten wie Frequenzanpassung oder Eingangsspannungserhöhung nicht mehr ausreichen und durch hohe Blindströme hohe ohmsche Verluste in den Halbleitern und Wicklungen entstehen. Eine adaptive Kompensation ist hier äußerst vielversprechend (Bild 3).

Zusammenfassend lässt sich die Aussage treffen, dass mit einer adaptiven Kompensation die elektromagnetische Störemission klein gehalten werden kann. So kann auch ohne genaue Positionierungsmaßnahmen eine Leistungsübertragung ermöglicht bzw. die Leistungsübertragung unter Einhaltung der EMV-Grenzwerte deutlich erhöht werden, auch wenn beispielsweise ein Fahrzeug nicht optimal geparkt wird.

Diese Eigenschaften ermöglichen damit zum einen eine hohe Ausnutzung und damit auch einen wirtschaftlich sinnvollen Betrieb des geplanten Systems. Zum anderen können die Kosten für Kommunikations-, Positionierungs- und Abschirmmaßnahmen durch die geplanten elektronischen Kompensations- und Steuerstrategien klein gehalten werden.

### Messergebnisse

Im bisherigen Projektverlauf wurden von Finepower der Prototyp eines induktiven Ladesystems aufgebaut und erste Vergleichsmessungen mit und ohne adaptive Kompensation durchgeführt. Der gemessene Wirkungsgrad ist in **Bild 4** in Abhängigkeit des Positionsversatzes für verschiedene Ausgangsleistungen aufgetragen. Wie sich leicht erkennen lässt, kann durch die in diesem Projekt untersuchten Maßnahmen der Wirkungsgrad bei Vollast um circa ein Prozent, mit abnehmender Last sogar um wesentlich mehr erhöht werden. Bei



**Bild 4.** Gemessener Wirkungsgrad des von Finepower aufgebauten Prototyps eines induktiven Ladesystems in Abhängigkeit des Positionsversatzes zwischen Sende- und Empfängerspule. Verglichen werden die Ergebnisse bei verschiedenen Ladeleistungen ohne und mit adaptiver Kompensation. Es kann der Wirkungsgrad bei Vollast (blau) um etwa ein Prozent, mit abnehmender Last sogar um wesentlich mehr, erhöht werden. Bei extremem Versatz ist durch diese Maßnahme ein Betrieb überhaupt erst möglich.

(Quelle: Finepower)

emem Versatz ist erst durch diese Maßnahmen überhaupt ein nennenswerter Betrieb möglich.

### Ausblick

Das Erreichen der gesteckten Ziele ermöglicht den Einsatz des Konzepts einer universellen Ladestation für eine große Zahl unterschiedlicher Fahrzeugtypen und Sekundärsysteme, ohne dass eine exakte Positionierung erforderlich ist. Damit können zum Beispiel herkömmliche Tankstellen genauso wie öffentliche Parkplätze in Parkhäusern, Bahnhöfen oder Flughäfen mit einer induktiven Ladestation ausgestattet werden, die nur durch die Möglichkeit, viele unterschiedliche Fahrzeuge zu laden, wirtschaftlich betrieben werden kann. Durch Standardisierung lässt sich zwar

die notwendige Interoperabilität sicherstellen, jedoch kann damit kein Einfluss auf individuelle Aspekte wie Parkdauer, Parkposition oder Zustand der Fahrzeugbatterie genommen werden, welche allesamt die Energieeffizienz der induktiven Übertragung mitbestimmen und so die Betriebskosten bzw. Kosten für den Kunden mit beeinflussen. Hierzu ist eine elektronische Nachjustierung der Ladestation auf die jeweiligen Umge-

bungsbedingungen möglich und vor allem notwendig, um die entstehenden Blindströme niedrig zu halten und so den gesamten Stromverbrauch in jeder Betriebssituation zu optimieren. Das bedeutet im Endeffekt auch die Ladezeiten zu verkürzen, Reichweiten zu erhöhen und eine hohe Auslastung der Ladestation zu erreichen.

Finepower hat mit Hilfe erster Messergebnisse die grundsätzliche Funktion und die technischen Verbesserungsziele bereits bestätigt. Im weiteren Projektverlauf wird eine Überarbeitung der adaptiven Kompensation und des primären Spulendesigns erfolgen, damit einerseits auch bei extremem Positionsversatz überhaupt Energie übertragen werden und andererseits eine weitere Effizienzerhöhung im Nennbetrieb erreicht werden können.

Das Konzept der universellen induktiven Energieübertragung ist nicht auf den Bereich Automotive oder speziell Elektromobilität beschränkt, sondern kann auch für industrielle Zwecke, vor allem im Produktionsprozess, genutzt werden, beispielsweise für die kontaktlose Aufladung von Nutzfahrzeugen wie Gabelstaplern oder kleinen Transporteinheiten. Hier ist es von entscheidender Bedeutung, eine möglichst effiziente, rasche und unkomplizierte Aufladung der Energiespeicher zu erreichen, weil der Stromverbrauch im Wesentlichen die Betriebskosten und damit indirekt auch die Herstell- und Verkaufspreise der Produkte des jeweiligen Unternehmens bestimmt. eck



#### Georg Heiland

ist als Entwicklungsingenieur bei Finepower angestellt und koordiniert im Unternehmen Forschung und Innovationen.



#### Dr. Christoph Ziegler

ist im EMV-Labor von Epcos in Regensburg tätig und unterstützt die Entwicklung und Charakterisierung von Komponenten für drahtlose Ladesysteme.



## Serie CST2020 Stromwandler

# Coilcraft



- Strommessung bis 40 Ampere über einen Frequenzbereich von 400 Hz bis 1 MHz
- 4000 V<sub>EFF</sub> Isolationsspannung zwischen Mess- und Ausgangswicklung
- Erfüllt verstärkte Isolierung gemäß UL/EN 60950-1

Mehr erfahren @

[www.coilcraft.de](http://www.coilcraft.de)