E-AUTOS, BEFREIT VOM LADEKABEL

Gewöhnlich werden E-Autos mittels Kabel geladen. Doch auch kontaktloses Laden mit induktiver Energieübertragung ist technisch möglich. Die Aargauer Energiedienstleisterin Eniwa AG hat in einem Pilot- und Demonstrationsprojekt gemeinsam mit der Empa und weiteren Partnern den Nutzen der induktiven Ladetechnik bestätigt. Autofahrerinnen und Autofahrer profitieren unmittelbar von einem einfacheren Handling. Mittelfristig könnte das kabellose Laden einen Beitrag zur Stabilisierung des Stromnetzes leisten.



Induktive Ladestation mit Wallbox (rechts) und Bodenplatte (Mitte): Sobald das Auto parkiert ist, startet der Ladevorgang automatisch. Das Einstecken eines Ladekabels erübrigt sich. Foto: Claudio Richter

Fachbeitrag zu den Erkenntnissen aus einem P+D-Projekt im Bereich Mobilität, das vom Bundesamt für Energie finanziell unterstützt wurde. Der Beitrag ist unter anderem im Fachmagazin Electra (Ausgabe Oktober 2026) erschienen.

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE

Der Ausbau der öffentlich zugänglichen Ladestationen für Elektrofahrzeuge schreitet voran. Aktuell sind in der Schweiz über 17'000 öffentliche Ladepunkte verfügbar, doppelt so viele wie Ende 2020. Die Ladestationen unterscheiden sich bei Anschlüssen und Leistung; gemeinsam ist ihnen, dass der Strom über ein Ladekabel vom Netz in den Akku des Fahrzeugs geleitet wird.

Induktives Laden – also die kabellose Übertragung von elektrischem Strom – kennt man von elektrischen Zahnbürsten oder Mobiltelefon-Ladestationen. Bei Fahrzeugen ist das induktive Laden bislang nicht gebräuchlich, trotz verschiedener Anläufe in diese Richtung. Im Jahr 2018 hatte der deutsche Autokonzern BMW gemeinsam mit dem Schweizer Technologieunternehmen BRUSA ein induktives Ladesystem entwickelt. Mit einer maximalen Ladeleistung von lediglich 3,2 kW und einem Wirkungsgrad von 85 % (Herstellerangaben) setzte sich das Ladesystem damals allerdings nicht durch.

Speicher auf vier Rädern

Doch die Vorstellung, dass ein Fahrzeug ohne Einstecken eines Ladekabels wie von Zauberhand geladen wird, bleibt faszinierend. In einem Projekt mit dem Kürzel INLADE (für: Induktives Laden von Elektrofahrzeugen) nahm die Aargauer Stromversorgerin Eniwa Ende 2023 einen neuen Anlauf, gemeinsam mit ‹Energie Thun› und dem Stadtwerke-Verband Swisspower. Dass sich Stromversorger für das induktive Laden interessieren, hat gute Gründe, wie Claudio Richter, Projektleiter Unternehmensentwicklung bei Eniwa, ausführt: «Wird ein Fahrzeug an einer induktiven Ladestation parkiert, wird es automatisch mit dem Netz verbunden. Das eröffnet für uns als Energieversorgerin die Möglichkeit, die Akkus von Elektroautos zur Stabilisierung des Stromnetzes zu nutzen, sofern die Autobesitzer zustimmen.» Für Eniwa und andere Energieversorger ist das von grossem Nutzen. Da die Stromproduktion von Solar- und Windkraftwerken im Tagesverlauf



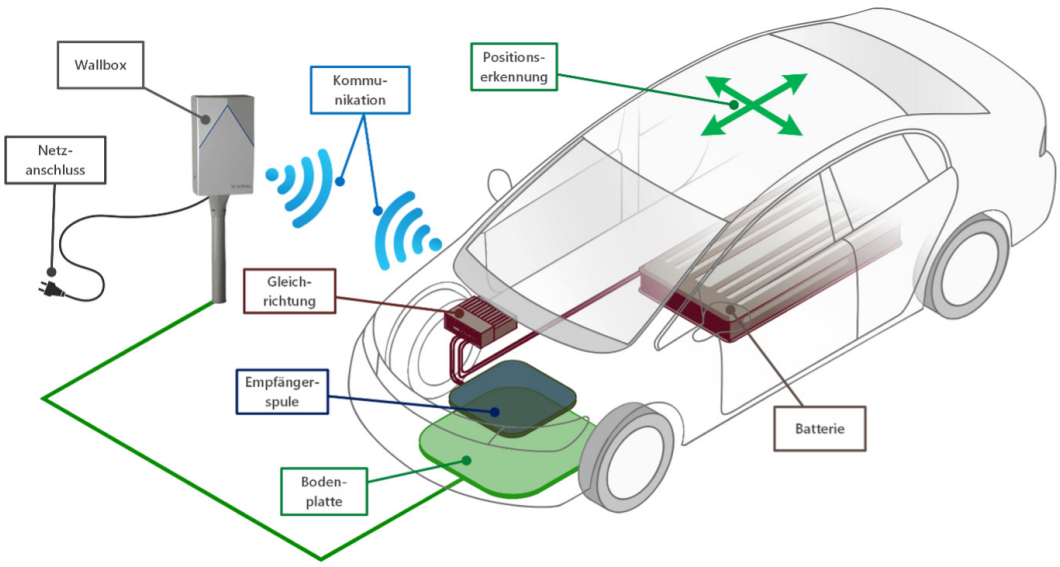
Im Empa-Labor wird die Empfängerspule in einen VW ID.5 eingebaut. Foto: Mathias Huber

RESONANTE INDUKTIVE KOPPLUNG

Schon seit längeren lassen elektrische Zahnbürsten oder Mobiltelefone sich induktiv laden. Die elektrische Energie wird dabei nicht durch ein Kabel übertragen, sondern durch magnetische Induktion: Ein elektrischer Strom erzeugt beim Durchströmen einer Spule (Drahtwicklung) ein magnetisches Feld, das in einer zweiten Spule einen Stromfluss hervorruft (‹induziert›). Damit die magnetische Induktion funktioniert, müssen beide Spulen nah beieinander sein und genau übereinander liegen.

Die sogenannte Resonanz-Kopplung dient dazu, die Stromübertragung mittels magnetischer Induktion zu verstärken. Resonanz-Kopplung bedeutet, dass die Senderspule bei der Energieübertragung mit einer Wechselstrom-Frequenz arbeitet, bei der die Dämpfung des Systems gegen Null tendiert. Die Verbindung von magnetischer Induktion und Resonanz-Kopplung wird als ‹resonante induktive Kopplung› bezeichnet. Die Stromübertragung erfolgt durch ein Magnetfeld, das mit der Frequenz des Wechselstroms oszilliert. Bei drahtlosen Ladestationen liegt die Frequenz gemäss internationalem Standard in einem schmalen Band in der Nähe von 85 kHz.

Der physikalische Mechanismus der resonanten induktiven Kopplung ist seit langem bekannt. 2007 wurde er am Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Cambridge (USA) wiederentdeckt und technisch neuartig und dabei besonders leistungsfähig umgesetzt. Damals gelang es, Strom über eine Distanz von mehreren Metern mit hoher Effizienz zu übertragen. Diese Innovation macht sich das Start-up WiTricity in seinem induktiven Ladesystem zu Nutze. Wenn im vorliegenden Artikel von ‹induktivem Laden› gesprochen wird, ist stets die ‹resonante induktive Kopplung› gemeint.



In der Wallbox wird der Wechselstrom aus dem Netz (50 Hz) in hochfrequenten Wechselstrom (85 kHz) umgewandelt. Dieser gelangt in die Bodenplatte und wird über ein Magnetfeld (resonante induktive Kopplung) auf die Empfängerspule übertragen. Anschliessend wird der Strom in Gleichstrom umgewandelt und in der Batterie gespeichert. Für den Ladevorgang kommuniziert die Wallbox über WLAN mit dem Fahrzeug. Foto: Mathias Huber auf Basis Nationale Plattform Elektromobilität/NPE

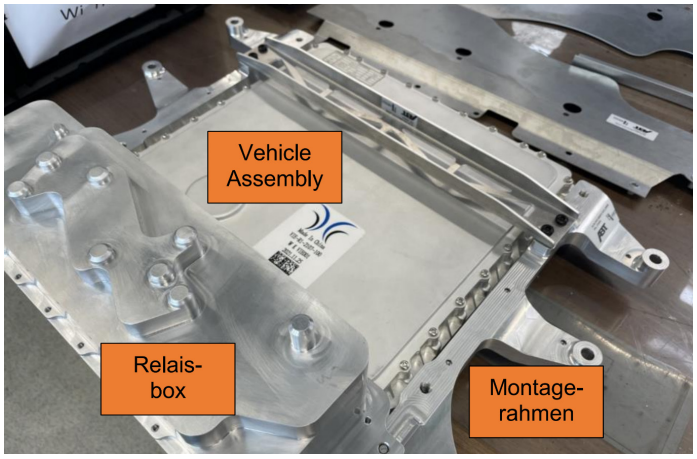
schwankt, braucht es Speicher, die den Strom puffern, bis er gebraucht wird.

Das Auto als Speicher auf vier Rädern zu nutzen – mit diesem Fernziel hat das von Eniwa aufgegleiste INLADE-Projekt das induktive Laden von Personenwagen in technischer und regulatorischer Hinsicht untersucht. Von akademischer Seite waren die Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt Empa und die Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) mit dabei, als Industriepartner die BRUGG eConnect AG. Die Untersuchung wurde aus dem P+D-Programm des Bundesamts für Energie unterstützt.

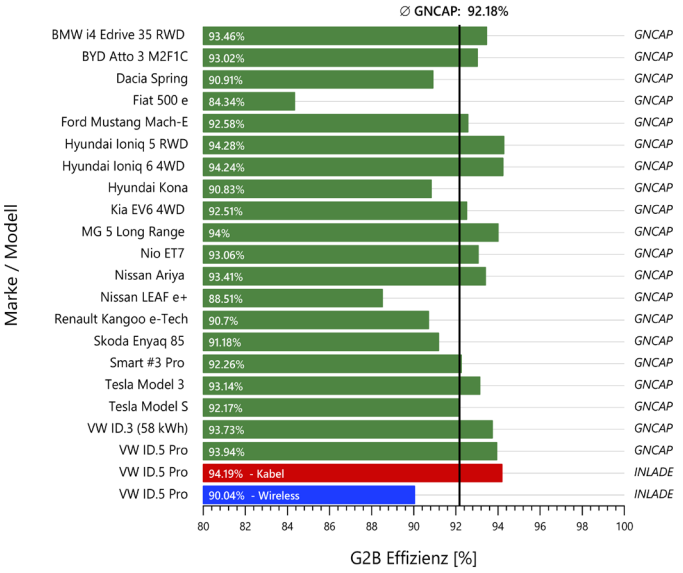
Fahrzeuge nachgerüstet

Ausgangspunkt des Projekts war ein induktives Ladesystem der US-amerikanischen Firma WiTricity mit 11 kW Leistung. Die Firma hatte im Jahr 2023 beim Start von INLADE den Prototyp eines Ladesystems geliefert und begleitete anschliessend die Projektgruppe während der gesamten Laufzeit. Um das Ladesystem zu testen, mussten im P+D-Projekt verschiedene Vorkehrungen getroffen werden: Beim Eniwa-Hauptsitz in Buchs (AG) und an der Empa in Dübendorf wurde jeweils eine induktive Ladestation errichtet, bestehend aus einer Bodenplatte (Spule für das induktive Laden) und einer Wallbox (Leistungselektronik, Wechselrichter, Steuerungs- und Kommunikationstechnologie). Da noch keine Fahrzeuge mit serienmässig eingebauten induktivem Ladesystem verfügbar waren, wurden parallel dazu zwei Elektrofahrzeuge (VW ID.5) an der Unterseite mit je einer Empfangsspule nachgerüstet. Diese nimmt während des induktiven Ladens den Strom aus der Bodenplatte auf.

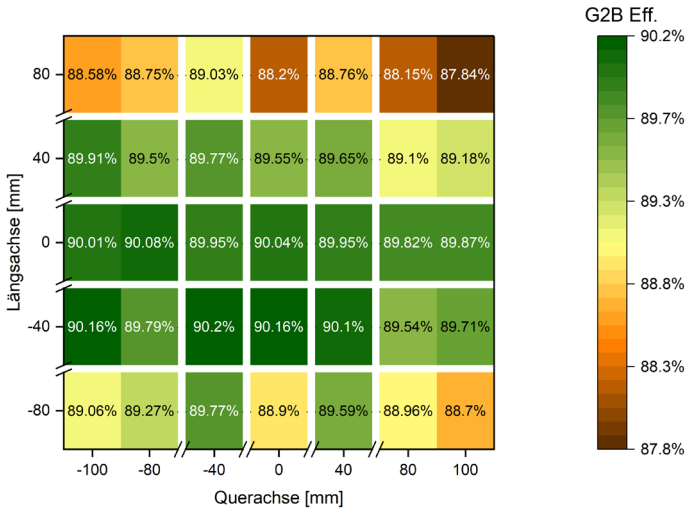
Die Umrüstung der beiden Fahrzeuge und der Aufbau der Ladestationen hielt für das Projektteam einige Hürden bereit. So hatten die Techniker keinen Zugriff auf die Fahrzeugsoftware, daher mussten sie in der Mittelkonsole der Testfahrzeuge ein eigenes Display einbauen. Dieses hilft der Fahrerin bzw. dem Fahrer, das Auto auf der Bodenplatte zu parkieren. Auch musste für die Strassenzulassung mit entsprechenden Messungen sichergestellt werden, dass im und um das Fahrzeug die Grenzwerte für elektromagnetische Felder eingehalten werden und die elektrische Sicherheit gewährleistet ist. Die beiden Fahrzeuge erhielten schliesslich eine reguläre Zulassung ohne Einschränkungen und waren damit bereit für den mehrmonatigen Testbetrieb. In der Zeit wurden sie ausschliesslich induktiv geladen.



Im Rahmen des P+D-Projekts wurde die Empfängerspule nachträglich ins Fahrzeug eingebaut. Bild: Platte mit Empfängerspule (Vehicle Assembly/VA), Montagerahmen und Relaisbox. Letztere dient als Bindeglied zwischen der Empfängerspule und dem Hochvolt-System des Fahrzeugs. Foto: ABT eLine



Ladeeffizienz mit Kabel bei 20 E-Fahrzeugen (grün, rot) im Vergleich zur Ladeeffizienz, die im P+D-Projekt INLADE gemessen wurde (blau). Interessantes Detail: Die Stromübertragung von Bodenplatte zu Empfängerspule über den Luftspalt erfolgt mit einer Effizienz von 96 bis 99 %, ist also nur für einen Teil der Effizienzverluste des induktiven Ladesystems verantwortlich. Grafik: INLADE (mit Daten von Green NCAP)

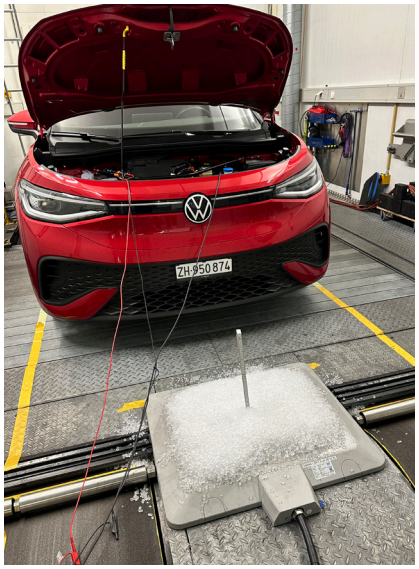


Für das induktive Laden muss das Fahrzeug so parkiert werden, dass sich die Empfängerspule über der Bodenplatte befindet. Damit dies dem Fahrer oder der Fahrerin gelingt, hilft ein Display im Fahrzeuginnern. Die Grafik zeigt, dass auch bei Abweichungen (in Längs- und Querrichtung) von 8 bis 10 cm noch eine ziemlich hohe Grid-to-Battery-Effizienz herrscht. Grafik: Mathias Huber

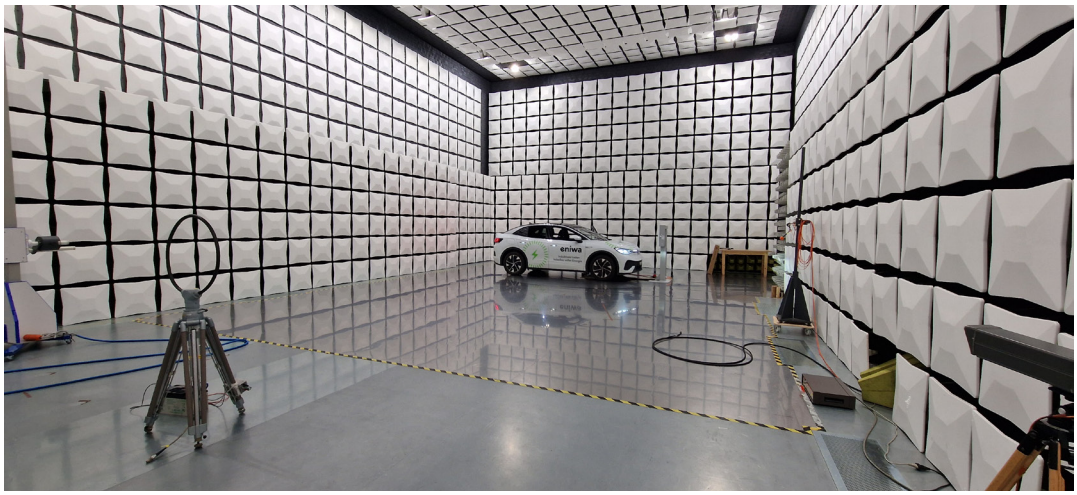
Effiziente Energieübertragung

Im Rahmen des Projekts wurden rund 100 Messungen von induktiven Ladevorgängen durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass das induktive Ladesystem fast gleich effizient ist wie konduktives Laden mittels Ladekabel. Der Wirkungsgrad vom Netzanschlusspunkt bis zum Eingang der Autobatterie (‹Grid-to-Battery›) betrug rund 90 % (gegenüber 94 % beim VW ID.5 mit konduktivem AC-Laden). «Gelegentlich hört man, induktives Laden sei ineffizient, doch mit der heute eingesetzten Leistungselektronik trifft das keineswegs zu», sagt Empa-Wissenschaftler Mathias Huber. Der Experte für Fahrzeugsysteme betont, die Effizienz von rund 90 % werde bei so gut wie allen Betriebsbedingungen erreicht – also auch bei Regen, Schnee und Eis, bei Temperaturschwankungen von bis zu 40 Grad im Tagesverlauf, aber auch, wenn der Abstand der Empfängerspule im Fahrzeug gegenüber der Bodenplatte horizontal oder vertikal verschoben ist. «Das Ladesystem hat sehr zuverlässig gearbeitet, wenn man von einzelnen Software-Fehlern absieht, die für einen Prototypen üblich sind. Auch konnten wir keine problematischen Rückwirkungen auf das Stromnetz beobachten», so Huber.

Die beiden umgerüsteten Fahrzeuge wurden bei Eniwa und an der Empa eingesetzt. Eines der Fahrzeuge kam später zudem während acht Monaten bei einem E-Carsharing-Anbieter zum Einsatz. Dort wurde das Auto von zahlreichen Personen genutzt und von knapp 20 Fahrerinnen und Fahrern im Zuge der Fahrzeugnutzung induktiv geladen. Eine Umfrage der ZHAW hat ergeben, dass das induktive Ladesystem nach anfänglichen Bedenken schliesslich als sicher und gesundheitlich unbedenklich eingestuft wurde. Der Komfort des Ladevorgangs wurde geschätzt, das Handling als unkompliziert wahrgenommen; aber es bestand eine geringe Bereitschaft, für die Zusatzoption mehr zu bezahlen.



Um Umwelteinflüsse auf das induktive Ladesystem zu testen, wurde die Bodenplatte für die Tests an der Empa unter anderem mit einer dicken Eisschicht versehen. Foto: Mathias Huber



Die für induktives Laden umgebauten Fahrzeuge wurden in einem spezialisierten Prüflabor (EMC-Testcenter AG, Regensdorf) auf elektromagnetische Verträglichkeit getestet. Diese Prüfungen haben gezeigt: Das induktive Laden ist ungefährlich, auch z.B. für eine Person, die während des Ladevorgangs im Auto sitzen bleibt. Foto: Claudio Richter

Markteinführung läuft

Induktives Laden – so das Fazit des P+D-Projekts – ist technisch weit fortgeschritten und praxistauglich. Da ein nachträgliches Umrüsten von Fahrzeugen unwirtschaftlich ist, müssen Fahrzeuge von Beginn weg mit der induktiven Ladetechnik ausgerüstet werden. Der Sportwagenhersteller Porsche hat angekündigt, im Jahr 2026 einen elektrischen Porsche Cayenne auf den Markt zu bringen, der serienmässig für induktives Laden ausgestattet ist. Das Fahrzeug kann weiterhin auch mit Kabel geladen werden.

Die Firma WiTricity hat unterdessen einen Strategiewechsel vollzogen, und das Geschäft mit induktiven Ladestationen für Personenwagen wird nicht mehr priorisiert. Weil andere Hersteller die induktive Ladetechnik unterdessen ebenfalls anbieten, steht die Chancen gut, dass Autohersteller bald serienmässig Fahrzeuge für induktives Laden auf den Markt bringen werden.

- **Schlussbericht** zum Projekt ‹Induktives Laden von Elektrofahrzeugen› (INLADE).
- **Auskünfte** zu dem Projekt erteilen Luca Castiglioni, Leiter des BFE-Forschungsprogramms Mobilität, und Men Wirz, der das P+D-Projekt für das BFE betreut hat.
- Weitere **Fachbeiträge** über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Mobilität.

SICHERHEIT

Das induktive Ladesystem, das im P+D-Projekt eingesetzt wurde, verfügt über ein Sicherheitssystem. Dieses erkennt Fremdkörper (wie z.B. Metallteile), die sich im induktiven Magnetfeld erhitzen und die zu Bränden führen können. Erkannt werden auch Lebewesen, also beispielsweise Katzen. Erkennt die Ladestation Fremdkörper oder Lebewesen, wird der Ladevorgang automatisch gestoppt, um Schäden zu verhindern.

Autor: Benedikt Vogel, im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE)
Stand: November 2026