



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

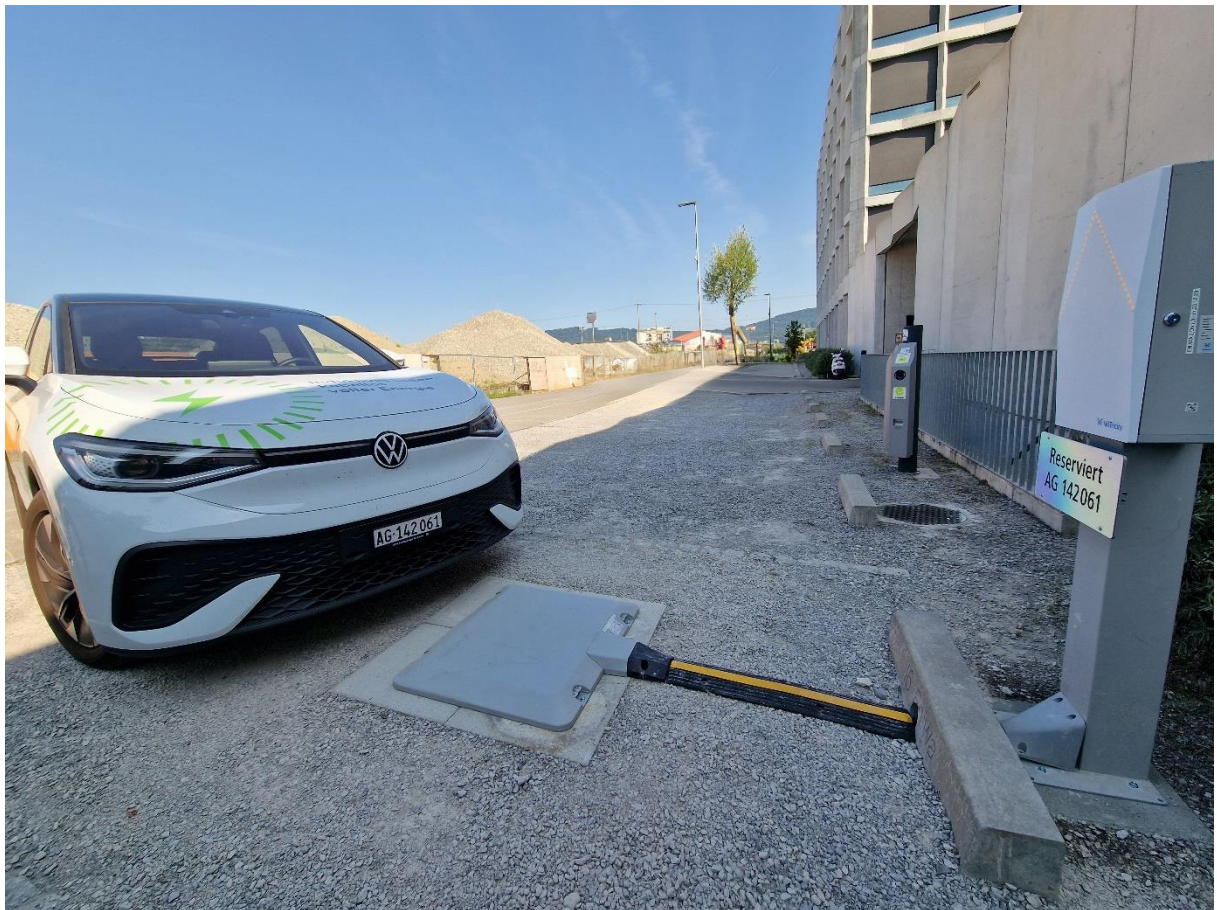
Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung und Cleantech

Zwischenbericht vom 2. Dezember 2024

Induktives Laden von Elektrofahrzeugen

INLADE



Quelle: Eniwa / Claudio Richter 2024

**Subventionsgeberin:**

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung und Cleantech
CH-3003 Bern
www.energieforschung.ch

Ko-Finanzierung:

Kanton Aargau
Departement Bau, Verkehr und Umwelt
CH-5001 Aarau
<https://www.ag.ch/de/verwaltung/bvu>

Kanton Zürich
Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft
CH-8090 Zürich
www.zh.ch/de/audirektion/amt-fuer-abfall-wasser-energie-luft.html

Subventionsempfänger/innen:

BRUGG eConnect AG
CH-5210 Windisch
www.bruggeconnect.com

Empa
CH-8600 Dübendorf
www.empa.ch

Energie Thun AG
CH-3607 Thun
www.energiethun.ch

Eniwa AG
CH-5033 Buchs
www.eniwa.ch

Swisspower AG
CH-3011 Bern
www.swisspower.ch

ZHAW School of Engineering – Institut für Nachhaltige Entwicklung
CH-8401 Winterthur
<http://www.zhaw.ch/de/hochschule>

**Autor/in:**

Christof Knöri, ZHAW School of Engineering, christof.knoeri@zhaw.ch

Claudio Richter, Eniwa AG, claudio.richter@eniwa.ch

Florian Vancu, WiTricity Schweiz GmbH, florian.vancu@witricity.com

Markus Bittner, WiTricity Schweiz GmbH, markus.bittner@witricity.com

Mathias Huber, Empa, mathias.huber@empa.ch

Miriam Elser, Empa, miriam.elser@empa.ch

Philippe Stark, Eniwa AG, philippe.stark@eniwa.ch

Raphael Hoerler, ZHAW School of Engineering, raphael.hoerler@zhaw.ch

Samuel Pfaffen, Eniwa AG, samuel.pfaffen@eniwa.ch

BFE-Projektbegleitung:

Men Wirz, men.wirz@bfe.admin.ch

Luca Castiglioni, luca.castiglioni@bfe.admin.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/502727-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren/Autorinnen dieses Berichts verantwortlich.



Zusammenfassung

Im Rahmen des Projektes wird die technische Machbarkeit des induktiven Ladens von Elektrofahrzeugen in der Schweiz anhand von Pilotinstallationen aufgezeigt und die Vor- sowie Nachteile der Technik analysiert. Die Installation und der Betrieb von 6-7 Ladestationen sowie die Umrüstung entsprechender Fahrzeuge stehen im Mittelpunkt. In einem ersten Schritt wurde der Zulassungsprozess für einen Standort und ein umgerüstetes Fahrzeug in der Schweiz durchgeführt. Dabei zeigten sich erste Herausforderungen, insbesondere bei der Homologation der Fahrzeuge und den technischen Anpassungen, die jedoch erfolgreich gelöst werden konnten.

Besonders positiv ist, dass das erste Fahrzeug die strengen EMV- und Sicherheitsanforderungen erfüllt und somit die Grundlage für die Ausweitung auf weitere Standorte geschaffen ist.

Ein zentraler Erkenntnisgewinn war die Bestätigung der Praxistauglichkeit der induktiven Ladesysteme, auch wenn Anpassungen an den Fahrzeugen, wie der Austausch defekter Hardwarekomponenten und die Behebung kleinere Softwareprobleme, notwendig waren.

Die bisherigen Tests haben gezeigt, dass das induktive Ladesystem effizient arbeitet und stabile Ladezyklen bietet. Dennoch sind weitere Untersuchungen notwendig, um das Potenzial der Technologie zu beurteilen. Die bisherigen Erkenntnisse sind vielversprechend und legen nahe, dass das induktive Laden nicht nur in der städtischen Mobilität, sondern auch allgemein für die Elektromobilität eine tragfähige und zukunftsorientierte Lösung darstellen kann. In der nächsten Phase beginnt die ZHAW mit einer umfassenden User-Experience-Studie, um zu untersuchen, wie die Technologie von den Nutzern im Alltag angenommen wird. Diese Analyse wird entscheidend zeigen, ob das induktive Laden eine nachhaltige Lösung für die noch breitere Einführung in der Elektromobilität darstellt.

Résumé

Dans le cadre de ce projet, la faisabilité technique de la recharge par induction des véhicules électriques en Suisse sera démontrée à l'aide d'installations pilotes et les avantages et inconvénients de la technique seront analysés. L'installation et l'exploitation de 6 à 7 stations de recharge ainsi que la transformation des véhicules correspondants sont au centre du projet. Dans un premier temps, le processus d'homologation d'un site et d'un véhicule converti a été réalisé en Suisse. Les premiers défis sont alors apparus, notamment en ce qui concerne l'homologation des véhicules et les adaptations techniques, mais ils ont pu être résolus avec succès.

Il est particulièrement positif que le premier véhicule réponde aux exigences strictes en matière de CEM et de sécurité, ce qui pose les bases d'une extension à d'autres sites.

La confirmation de l'aptitude pratique des systèmes de charge inductive a constitué un gain de connaissances essentiel, même si des adaptations des véhicules, comme le remplacement de composants matériels défectueux et la résolution de problèmes logiciels mineurs, ont été nécessaires.

Les tests réalisés jusqu'à présent ont montré que le système de charge inductive fonctionne efficacement et offre des cycles de charge stables. Néanmoins, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour évaluer le potentiel de cette technologie. Les résultats obtenus jusqu'à présent sont prometteurs et suggèrent que la charge inductive peut constituer une solution viable et orientée vers l'avenir, non seulement dans le domaine de la mobilité urbaine, mais aussi pour l'électromobilité en général. Dans la prochaine phase, la ZHAW entame une étude approfondie de l'expérience utilisateur afin d'examiner comment la technologie est acceptée par les utilisateurs au quotidien. Cette analyse montrera de manière décisive si la charge inductive représente une solution durable pour une introduction encore plus large dans la mobilité électrique.



Summary

As part of the project, the technical feasibility of inductive charging of electric vehicles in Switzerland will be demonstrated using pilot installations and the advantages and disadvantages of the technology will be analysed. The focus is on the installation and operation of 6-7 charging stations and the conversion of corresponding vehicles. In a first step, the authorisation process for a location and a converted vehicle in Switzerland was carried out. This revealed initial challenges, particularly with regard to the homologation of the vehicles and the technical adaptations, but these were successfully resolved.

It is particularly positive that the first vehicle fulfils the strict EMC and safety requirements, thus creating the basis for expansion to other locations.

A key gain in knowledge was the confirmation of the practical suitability of the inductive charging systems, even though adjustments to the vehicles, such as the replacement of defective hardware components and the rectification of minor software problems, were necessary.

The tests to date have shown that the inductive charging system works efficiently and offers stable charging cycles. Nevertheless, further investigations are necessary to assess the potential of the technology. The findings so far are promising and suggest that inductive charging can be a viable and future-oriented solution not only for urban mobility, but also for electromobility in general. In the next phase, the ZHAW will begin a comprehensive user experience study to analyse how the technology is accepted by users in everyday life. This analysis will be decisive in determining whether inductive charging is a sustainable solution for the even broader introduction of electromobility.



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	4
Résumé.....	4
Summary	5
Inhaltsverzeichnis	6
Abbildungsverzeichnis	8
Tabellenverzeichnis	9
Abkürzungsverzeichnis	10
1 Einleitung	12
1.1 Ausgangslage und Hintergrund	12
1.2 Motivation des Projekts	12
1.3 Projektziele	12
2 Anlagenbeschreibung	13
2.1 Funktionsweise und Ladetechnik von WiTricity.....	13
2.2 WiTricity Halo Wireless Charger 11 kW Ground Pad	15
2.3 WiTricity Halo Wireless Charger 11 kW Wall Box	15
2.4 WiTricity-Fahrzeugempfänger (VA)	16
2.5 Spezifikationen gemäss Lieferantenangabe	16
3 Vorgehen und Methode.....	17
3.1 Genehmigungsverfahren für induktive Ladesysteme	17
3.1.1 Erlangung der Markttauglichkeit der Ladestation	17
3.1.2 Zulassungsverfahren für Fahrzeuge	19
3.1.3 Homologation des Serienproduktes	21
3.1.4 Normen und gesetzliche Anforderungen im Überblick	21
3.1.5 Begriffsdefinitionen	25
3.2 User-Experience – Forschungsfragen und Methodik	26
4 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse	27
4.1 Umbau des ersten Fahrzeugs	27
4.1.1 Bericht Umbauarbeiten ABT eLine GmbH	28
4.1.2 Ausgeführte Arbeiten WiTricity und Mess- und Prüfinstitute	33
4.2 Die Zulassung am Beispiel des ersten Prototyps.....	35
4.2.1 Vorabklärungen mit involvierten Parteien.....	35
4.2.2 EMV-Messungen am Fahrzeug #1.....	36
4.2.3 NEV-Prüfung am Fahrzeug #1	40
4.3 Zulassung des zweiten Prototyps.....	42
4.4 Die Installation der ersten Ladestation in Buchs	42
4.4.1 Einführung und Risikoanalyse	42



4.4.2	Tiefbau- und Erschliessungsarbeiten	42
4.4.3	Installation Ladestation und Monitoringsysteme	43
4.5	Einfluss auf die Neuwagengarantie resp. Gewährleistung.....	44
4.6	User Experience	46
4.6.1	Literaturanalyse	46
4.6.2	Forschungsdesign	46
4.6.3	Zeitplan	47
5	Bewertung der bisherigen Ergebnisse.....	48
6	Weiteres Vorgehen	49
6.1	Koordination und Auswahl eines neuen Partners für die Fahrzeugumrüstung	49
6.2	Start der User-Experience-Studie und Sharing-Einführung	49
6.3	Umrüstung des nächsten Fahrzeugs und Technische Untersuchungen	49
6.4	Erweiterung der Ladeinfrastruktur und Partnersuche	50
6.5	Monitoring und Optimierung des Ladesystems	50
6.6	Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit	50
7	Nationale und internationale Zusammenarbeit	51
8	Kommunikation	52
9	Publikationen	54
10	Literaturverzeichnis	54
11	Anhang	55



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ladesystem eines Elektrofahrzeugs mit kabelgebundenem Wechselstrom-Ladegerät ..	13
Abbildung 2: Kabelloses Ladesystem eines Elektrofahrzeugs mit induktiver Ladetechnologie von WiTricity	14
Abbildung 3: Induktives Ladesystem von WiTricity (Ground Pad, Wall Box & Verkabelung)	14
Abbildung 4: WiTricity Halo Wireless Charger 11 kW Ground Pad	15
Abbildung 5: WiTricity Halo Wireless Charger 11 kW Wall Box.....	15
Abbildung 6: WiTricity-Fahrzeugempfänger (VA).....	16
Abbildung 7: Übersicht genehmigungsrelevante Anforderungen (Quelle: eigene Grafik auf Basis der VDE Normungs-Roadmap)	22
Abbildung 8: Übersicht zum Forschungsdesign der User-Experience.....	27
Abbildung 9: Schematischer Aufbau Fahrzeugintegration	28
Abbildung 10: Demontage Unterbodenabdeckung vorne	29
Abbildung 11: Innenaufbau der vormontierten Relaisbox	29
Abbildung 12: Vehicle Assembly inkl. Montagerahmen und Relaisbox	30
Abbildung 13: vorbereiteter Unterboden vor der Montage der Vehicle Assembly	30
Abbildung 14: Unterboden mit installiertem Montagerahmen und vorbereiteten Kühlschläuchen	31
Abbildung 15: Fertig installierter Unterboden inkl. Schirmbleche	31
Abbildung 16: Steuereinheit «Ladekommunikation»	31
Abbildung 17: Kabelbaum Niedervoltsystem (12 V) vor Fahrzeuginstallation	32
Abbildung 18: Installation Kabelbaum im Fahrzeuginneren.....	32
Abbildung 19: Installation Kabelbaum im hinteren Fahrzeugbereich	32
Abbildung 20: Zusätzliches Display zur Visualisierung des Systemzustands	33
Abbildung 21: Hardwaremodifikation am Witricity-Fahrzeugempfänger im Eniwa Fahrzeug bei der Empa	34
Abbildung 22: Folgemessungen der abgestrahlten Emissionen bei WiTricity	34
Abbildung 23: Autodisplay mit Fehlermeldung	35
Abbildung 24: Fahrzeug Nr. 1 im EMV Labor mit Feldgenerator zur Bestrahlung des Fahrzeuges zur Prüfung der Immunität	38
Abbildung 25: Grenzwerte gestrahlter Störaussendungen im Bereich von 30 MHz bis 1 GHz	38
Abbildung 26: Messung nach UN-R10 (Test 1, rechte Fahrzeugseite & vertikale Antennenausrichtung)	39
Abbildung 27 Messung nach IEC 61980 (Test 4, 360°)	40
Abbildung 28: Prüfung des Isolationswiderstandes an der Empa.....	41
Abbildung 29: Installation des Leerrohrs beim ersten Ladestationsstandort	43
Abbildung 30: Box mit Monitoring- und Abrechnungssystem	43
Abbildung 31: Fertiggestellte induktive Ladestation bei Eniwa in Buchs	44
Abbildung 32: Zeitlicher Ablauf der User-Experience Studie	48



Abbildung 33: Aktualisierter Meilensteinplan	49
--	----

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Spezifikationen gemäss Lieferantenangabe	16
Tabelle 2: Normen und Regelungen betreffend des kabellosen Ladens von Elektrofahrzeugen	24
Tabelle 3: Definierte Prüfungen im Rahmen des erstellten Testprogramms	37



Abkürzungsverzeichnis

AC	Alternating Current / Wechselstrom
APS	Anerkannte Prüfstelle
ASTRA	Bundesamt für Strassen
BAKOM	Bundesamt für Kommunikation
BFE	Bundesamt für Energie
BMS	Battery Management System / Batterie-Management-System
CE	Conformité Européenne / Europäische Konformität
CENELEC	Europäischen Komitees für elektrotechnische Normung
dB	Dezibel
DC	Direct Current / Gleichstrom
DoC	Declaration of Conformity / Konformitätserklärung
ECE	Economic Commission for Europe / Wirtschaftskommission für Europa
EMV / EMC	Elektromagnetische Verträglichkeit / Electromagnetic compatibility
EU	Europäische Union
EV	Electric vehicle / Elektrofahrzeug
FOD	Foreign Object Detection / Erkennung von Fremdkörper
Fz.	Fahrzeug
GSR	General Safety Regulation / Allgemeine Sicherheitsverordnung
GWh	Gigawattstunde
Hz	Hertz
IEC	International Electrotechnical Commission / Internationale Elektrotechnische Kommission
IMN	Impedanzmessungsnetzwerk
ISO	International Standards Organization / Internationale Organisation für Normung
kWh	Kilowattstunde
LOD	Livion Object Detection / Erkennung lebender Objekte
NEV	Verordnung über elektrische Niederspannungserzeugnisse
NIV	Niederspannungs-Installationsverordnung
OBD	On Board Diagnose
OEM	Original Equipment Manufacturer / Originalgerätehersteller
PBB	Polybromierte Biphenyle
PBDE	Polybromierte Diphenylether
PD	Passive Beacon Position Detection / Passive Positionserfassung
PFC	Power Factor Correction / Leistungsfaktorkorrektureinheit
RoHS	Restriction of Hazardous Substances / Beschränkung gefährlicher Stoffe
SAE	Society of Automotive Engineers / Gesellschaft der Kraftfahrzeugingenieure
STVA	Strassenverkehrsamt
TD	Technischer Dienst
TGV	Verordnung über Typengenehmigung von Strassenfahrzeugen
UN	United Nations / Vereinte Nationen
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe / Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa
VA	Vehicle Assembly / Fahrzeugempfänger (WiTricity)
VEMV	Verordnung über elektromagnetische Verträglichkeit
VO	Verordnung
VREG	Verordnung über die Rückgabe, die Rücknahme und die Entsorgung elektrischer und elektronischer Geräte



VTs	Verordnung über die technischen Anforderungen an Strassenfahrzeuge
VW	Volkswagen
V2G	Vehicle to Grid / Vom Fahrzeug zum Netz
WEEE	Waste from Electrical and Electronic Equipment / Abfälle aus elektrischen und elektronischen Geräten
WP.29	Weltforum für die Harmonisierung von Fahrzeugsvorschriften
WPT	Wireless Power Transfer / Drahtlose Energieübertragung



1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Hintergrund

In den letzten Jahren hat sich die Elektromobilität in der Schweiz stetig weiterentwickelt und es wurden bedeutende Fortschritte im Rollout von Ladeinfrastruktur erzielt. Das induktive Laden von Elektrofahrzeugen stellt dabei eine vielversprechende neue Technologie dar, die besonders durch ihren Komfort und die Nutzung bei autonomen Fahrzeugen einen Vorteil gegenüber den konventionellen Ladesystemen bietet. Diese Technologie eliminiert das manuelle Anschliessen von Ladekabeln und eröffnet neue Möglichkeiten für die Nutzung von Elektrofahrzeugen im städtischen Raum und darüber hinaus. Das Projekt "Induktives Laden von Elektrofahrzeugen" zielt darauf ab, die Machbarkeit dieser Technologie durch Pilotinstallationen zu testen und ihre Vor- und Nachteile in der Praxis zu evaluieren.

Bisher wurde induktives Laden vorwiegend in Testumgebungen oder als Prototyp mit geringer Ladelistung eingesetzt. Die Skalierung auf eine markttaugliche Lösung erfordert umfassende Tests unter realen Bedingungen. Das Projekt sieht vor, diese Ladelösung für verschiedene Fahrzeugtypen nutzbar zu machen und das induktive Laden in den Alltag zu integrieren, um den Komfort und die Akzeptanz der Elektromobilität weiter zu steigern.

1.2 Motivation des Projekts

Die zunehmende Nachfrage nach emissionsfreien und benutzerfreundlichen Mobilitätslösungen sowie die politischen Rahmenbedingungen, wie die Energiestrategie 2050, machen das induktive Laden von Elektrofahrzeugen zu einer Schlüssellösung. Durch die Vorteile dieser Technologie, wie das komfortable, kabellose Laden und die Reduzierung des Wartungsaufwands, könnte eine höhere Akzeptanz und Nutzung von Elektrofahrzeugen erreicht werden. Zudem werden aktuelle Bedürfnisse wie Vehicle-to-Grid (V2G), also die Rückspeisung von Energie ins Netz, immer wichtiger. Induktives Laden könnte auch hier eine zentrale Rolle spielen, da es den Ladeprozess automatisiert und die Nutzung von Fahrzeugen als mobile Energiespeicher vereinfacht. Dies trägt zur Stabilisierung des Stromnetzes bei und unterstützt die Integration erneuerbarer Energien.

Die bisherigen Pilotprojekte zeigen das Potenzial dieser Technologie auf, aber es gibt noch offene Fragen zur Effizienz, Zuverlässigkeit und technischen Umsetzbarkeit unter realen Bedingungen. Das Projekt zielt darauf ab, diese Fragen zu klären, indem es Pilotinstallationen an mehreren Standorten durchführt und die Technologie unter realen Einsatzbedingungen testet. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf der praktischen Anwendung im Bereich des E-Carsharings, wo kabelloses Laden die Nutzung vereinfachen und die Akzeptanz erhöhen könnte. Gleichzeitig wird untersucht, wie gut das induktive Laden in die bestehende Ladeinfrastruktur und regulatorischen Anforderungen integriert werden kann und welche Anpassungen für eine breite Markteinführung erforderlich sind.

1.3 Projektziele

Das übergeordnete Ziel des Projekts ist die technische Machbarkeit des induktiven Ladens von Elektrofahrzeugen in der Schweiz zu demonstrieren und die Praxistauglichkeit dieser Technologie zu evaluieren. Dies umfasst insbesondere die folgenden Ziele.

- **Technische Machbarkeit:** Installation und Betrieb von 6-7 Ladestationen und entsprechenden Fahrzeugen. Der Fokus liegt auf der erfolgreichen Zulassung der Ladesysteme und Fahrzeuge in der Schweiz, basierend auf den regulatorischen Anforderungen.
- **Energieeffizienz und Zuverlässigkeit:** Die EMPA wird technische Untersuchungen durchführen, um die Energieeffizienz und Zuverlässigkeit der Systeme zu bewerten.
- **Nutzererfahrung (User-Experience):** Die ZHAW führt eine umfassende Studie zur Nutzererfahrung durch, um zu analysieren, wie die Technologie im Alltag angenommen wird, insbesondere im Bereich des E-Carsharings.



- **Erweiterungspotenzial:** Es sollen zusätzliche Anwendungsfälle (z.B. im öffentlichen Verkehr) evaluiert werden, um die Skalierbarkeit der Technologie für den breiteren Einsatz in der Elektromobilität zu prüfen.

Langfristig soll das Projekt zeigen, ob das induktive Laden eine tragfähige Lösung für die Zukunft der Elektromobilität darstellt und welche Optimierungen für eine breitere Markteinführung notwendig sind.

2 Anlagenbeschreibung

2.1 Funktionsweise und Ladetechnik von WiTricity

Das kabellose Laden basiert auf dem Prinzip der elektromagnetischen Induktion, bei dem Energie drahtlos zwischen einer Ladeplatte (Ground Pad) am Boden und einer Empfängerspule (Vehicle Unit) im Fahrzeug übertragen wird. Die Übertragung erfolgt über einen Luftspalt, anstelle der konventionellen Übertragung über einen Eisenkern in einem Transformator. Je grösser der Luftspalt ist, desto mehr sinkt die Effizienz der Energieübertragung. Auch eine ungenaue Ausrichtung zwischen der Ladeplatte im Boden und der Empfängerspule im Fahrzeug kann die Effizienz verringern.

Das Ladesystem von WiTricity verwendet ein optimiertes Spulendesign und spezielle Low-Loss-Resonatoren, um Verluste in der Übertragung von Grundplatte zum Receiver zu minimieren und die Effizienz zu steigern. Zudem hilft ein Positionierungssystem dabei, die Abweichung zwischen den beiden Ladeplatten zu reduzieren, was eine höhere Übertragungseffizienz ermöglicht. Dadurch erreicht das induktive System Wirkungsgrade, die mit konventionellen Plug-in-Ladegeräten vergleichbar sind.

In früheren Labortests wurden Ladeeffizienzen zwischen 88 % und 92 % gemessen, abhängig von der Entfernung (10 cm bis 25 cm) und den Positionierungsabweichungen (± 10 cm seitlich, $\pm 7,5$ cm vorwärts/rückwärts) zwischen den Ladeplatten. Diese Wirkungsgrade entsprechen den typischen Effizienzwerten von Level-2-Ladestationen.

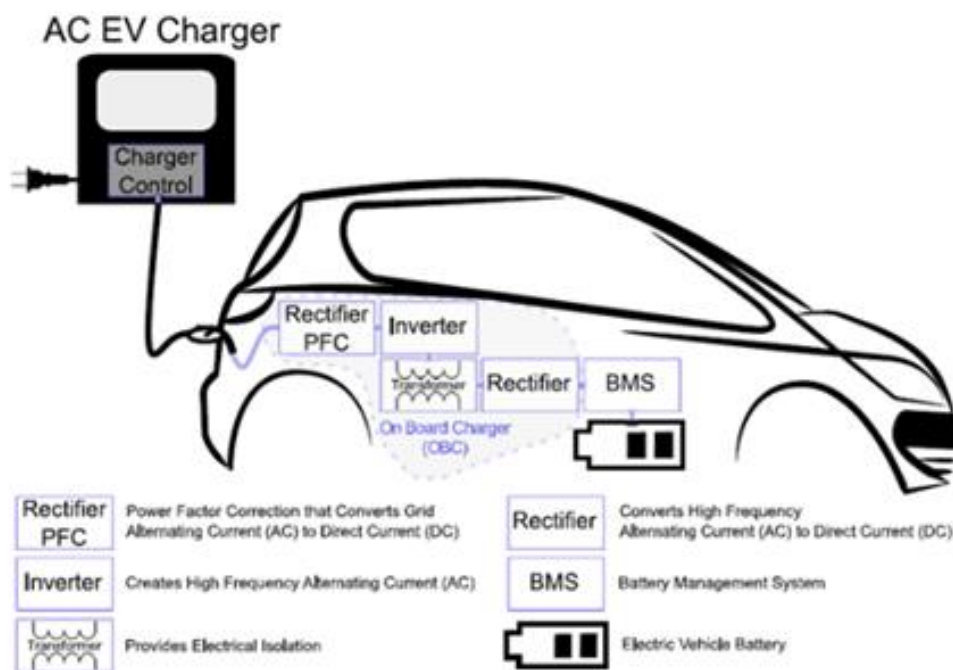


Abbildung 1: Ladesystem eines Elektrofahrzeugs mit kabelgebundenem Wechselstrom-Ladegerät

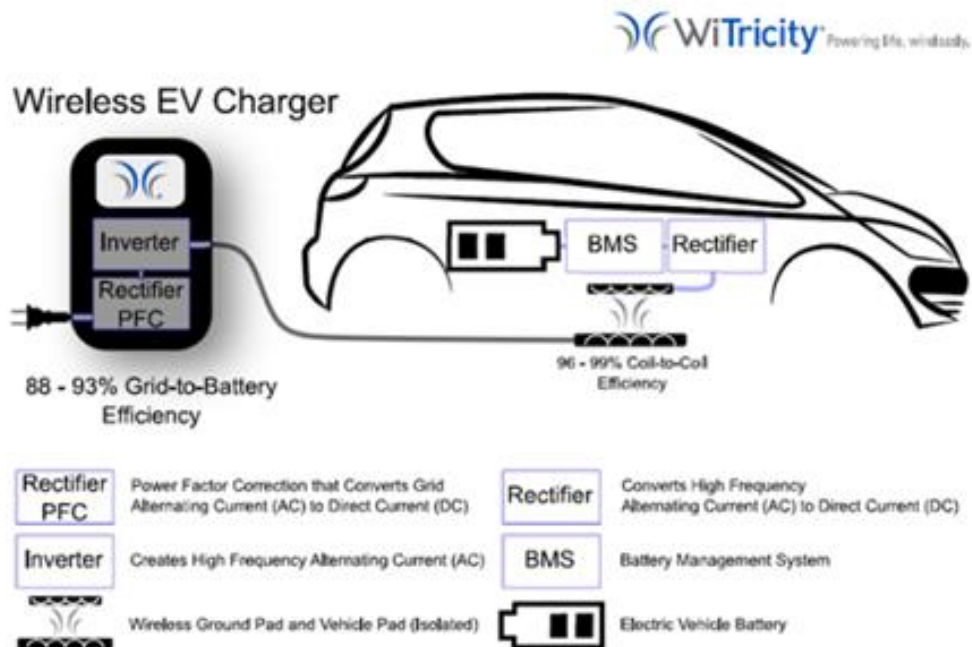


Abbildung 2: Kabelloses Ladesystem eines Elektrofahrzeugs mit induktiver Ladetechnologie von WiTricity

Das von WiTricity zur Verfügung gestellte System beinhaltet das «WiTricity Halo Wireless Charger 11 kW Ground Pad», die «WiTricity Halo Wireless Charger 11 kW Wall Box», den «WiTricity-Fahrzeugempfänger» mit integrierter Spule, Leistungselektronik und Steuerungshardware, die Verkabelung der Wall Box zum Ground Pad wie auch ein Betriebshandbuch.

Das System ermöglicht eine Energieübertragung von bis zu 11 kW AC-Eingangleistung an eine DC-Last oder an den Hochspannungsbus eines Elektrofahrzeugs. Es entspricht den SAE J2954- und IEC/ISO-Normen und arbeitet mit einer festen Frequenz von 85 kHz.



Abbildung 3: Induktives Ladesystem von WiTricity (Ground Pad, Wall Box & Verkabelung)



2.2 WiTricity Halo Wireless Charger 11 kW Ground Pad

Das Pad enthält eine Spule und ein Impedanzmessungsnetzwerk (IMN). Zusätzlich ist ein System zur Erkennung von Fremdkörpern (FOD) und lebenden Objekten (LOD) vorhanden. Das Pad ist für reale Einsatzbedingungen konzipiert, kann von Fahrzeugen überfahren werden und ist wasserdicht nach IP68.



Abbildung 4: WiTricity Halo Wireless Charger 11 kW Ground Pad

2.3 WiTricity Halo Wireless Charger 11 kW Wall Box

Die Wall Box kann einphasig oder dreiphasig angeschlossen werden und ist mit einer Leistungsfaktor-korrektуреinheit (PFC), einem Wechselrichter und einer Steuerplatine ausgestattet. Die PFC dient der Umwandlung des Eingangswechselstroms in eine variable Gleichspannung, die den Wechselrichter antreibt. Die Steuerplatine, welche die Kommunikation und die Steuerung des Ladevorgangs gewährleistet, den Leistungsregler, den Anwendungsprozessor und das Wi-Fi-Modul. Die Stromversorgung und Kommunikation zwischen der Wall Box und dem Ground Pad erfolgt über ein vorkonfektioniertes Kabel, welches eventuell durch die Firma BRUGG eConnect produziert werden kann.



Abbildung 5: WiTricity Halo Wireless Charger 11 kW Wall Box



2.4 WiTricity-Fahrzeugempfänger (VA)

Der Empfänger enthält eine integrierte Spule mit dem dazugehörigen Impedanzmessungsnetzwerk (IMN), Leistungselektronik und Steuerhardware. Weiter verfügt er über eine Passive Beacon Position Detection (PD) Funktionalität, welche die Bestimmung der Fahrzeugposition ermöglicht. Der Empfänger ist für eine Bodenfreiheit von 14 cm bis 18 cm optimiert und benötigt einen Anschluss an den bestehenden Flüssigkühlkreislauf des Fahrzeugs.

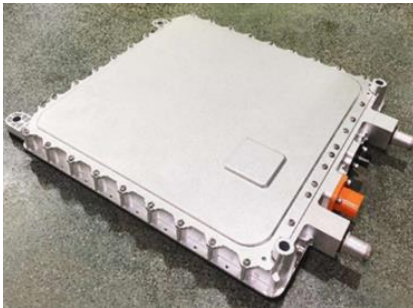


Abbildung 6: WiTricity-Fahrzeugempfänger (VA)

2.5 Spezifikationen gemäss Lieferantenangabe

Tabelle 1: Spezifikationen gemäss Lieferantenangabe

Betriebsfrequenz	85 kHz
Wirkungsgrad der Energieübertragung (AC-Eingang zu DC-Ausgang)	88 % bis 92 % in den Betriebspunkten mit voller Leistung.
Positionstoleranz (11 kW Leistung, maximaler Netzbezug)	± 10 cm horizontal ± 7.5 cm vertikal
Nominale Eingangsleistung	240 VAC, einphasig oder 380 VAC, 3-phasig
Ausgangsleistung	DC: VA bis zu 10.1 kW
Ausgangsspannung	DC: VA funktioniert über einen Batteriespannungsbereich von 220-450 V DC. Die maximale Leistung kann zwischen 320-450 V geliefert werden, die Nennleistung zwischen 220-320 V.
Physikalische Abmessungen	
Wall Box	250 mm x 592 mm x 228 mm
Ground Pad	840 mm x 794 mm x 61 mm



3 Vorgehen und Methode

3.1 Genehmigungsverfahren für induktive Ladesysteme

Die Zulassungs- respektive Genehmigungsverfahren unterscheiden sich, je nachdem, ob das System als Serienprodukt im Rahmen einer Erstausrüstung homologiert werden soll, oder - wie im Fall der beiden Prototypen in diesem Projekt - an einem Einzelfahrzeug. Zudem unterscheiden sich die Zulassungsverfahren der Fahrzeuge (inklusive verbautem Ladesystem) von der Zulassung der netzseitigen Ladestation (Wall Box & Bodenplatte). Die drei unterschiedlichen Verfahren werden nachfolgend in den Abschnitten «Erlangung der Markttauglichkeit der Ladestation» (3.1.1), «Zulassungsverfahren für Fahrzeuge» (3.1.2) sowie «Homologation des Serienproduktes» (3.1.3) beschrieben.

3.1.1 Erlangung der Markttauglichkeit der Ladestation

Die Marktzulassung von elektrischen Betriebsmitteln in der EU und in der Schweiz unterscheidet sich grundlegend vom Zulassungsverfahren im Automobilbereich. Während Kraftfahrzeuge ein aufwändiges Genehmigungsverfahren durchlaufen müssen, welches die abschliessende Prüfung durch eine Behörde beinhaltet, basiert die Marktzulassung von elektrischen Betriebsmitteln auf dem Prinzip der Eigendeklaration des Herstellers. Es gibt also - im Gegensatz zum (Typ-)Genehmigungsverfahren im Automobilbereich - für elektrische Erzeugnisse, wozu auch die induktiven Ladestationen zählen, kein eigentliches Zulassungsverfahren. Das heisst: die Erfüllung aller gesetzlichen Grundlagen und die Einhaltung der anwendbaren Normen wird vor Markteintritt nicht behördlich validiert: die Verantwortung für die Konformität des Produktes obliegt allein dem Hersteller. Aus diesem Grund werden hier auch nicht die Begriffe «Genehmigung» und «Zulassung» verwendet, man spricht von der «Erlangung der Markttauglichkeit».

3.1.1.1 Eigendeklaration

Der Hersteller oder Bevollmächtigte erklärt demzufolge selbst, dass sein Produkt den geltenden EU-Richtlinien und -Verordnungen respektive dem Schweizer Recht entspricht. Dies geschieht durch die Anbringung der CE-Kennzeichnung auf dem Produkt und dem Ausstellen einer Konformitätserklärung («declaration of conformity» oder kurz DoC). Die CE-Kennzeichnung ist somit ein vom Hersteller selbstverantwortetes Zeichen der Konformität mit den europäischen resp. schweizer Richtlinien.

In der Schweiz ist die Anbringung des CE-Kennzeichens auf dem Produkt zwar nicht verpflichtend, die technischen Anforderungen an das Produkt, das Konformitätsbewertungsverfahren und die Konformitätserklärung unterscheiden sich jedoch ansonsten kaum von jenen innerhalb der EU.

Je nach Erzeugnis und dessen Anwendung müssen unterschiedliche Anforderungen erfüllt werden. Welche Anforderungen auf ein spezifisches Erzeugnis anwendbar sind, ist Sache des Herstellers und muss anhand einer Risikoanalyse definiert und festgehalten werden.

Elektrische Betriebsmittel - wozu auch die induktive Ladestation zählt - müssen im Rahmen der Markteinführung eine Vielzahl von Richtlinien und Verordnungen einhalten. Zu den wichtigsten Richtlinien gehören:

3.1.1.2 Elektrische Sicherheit

In der Schweiz definiert die Verordnung über elektrische Niederspannungserzeugnisse (NEV - 734.26) die grundlegenden Sicherheitsanforderungen an elektrische Erzeugnisse. Sie stützt sich dabei auf die Niederspannungsrichtlinie 2014/35/EU der europäischen Gemeinschaft. Zudem regelt die Verordnung über elektrische Niederspannungsinstallationen (NIV - 734.27) die Installation und die Anbindung an das Stromnetz.



3.1.1.3 Elektromagnetische Verträglichkeit

Die Verordnung über die elektromagnetische Verträglichkeit (VEMV - 734.5) regelt in der Schweiz das Anbieten (Bereitstellung auf dem Markt) sowie die Inbetriebnahme und die Nutzung von Betriebsmitteln, welche elektromagnetische Störungen verursachen (oder deren Betrieb durch solche Störungen beeinträchtigt werden kann). In Europa sind die Anforderungen in der EMV-Richtlinie (2014/30/EU) definiert.

In der Schweiz, genau wie in der EU, wird für die technischen Details - wie Prüfumfang und –methodik, Anforderungen an Labors und Messgeräte sowie die einzuhaltenden Grenzwerte - auf international harmonisierte Normen verwiesen.

3.1.1.4 Stoffbeschränkungen in Elektro- und Elektronikgeräten

Die Stoffbeschränkungen in Elektro- und Elektronikgeräten in der Schweiz sind mit denjenigen der EU nach Richtlinie 2011/65/EU (RoHS2) identisch bezüglich Art der geregelten Schwermetalle und Flammschutzmittel sowie den betroffenen Gerätekategorien. Das heisst: Elektro- und Elektronikgeräte sowie deren Kabel und Ersatzteile dürfen nicht in Verkehr gebracht werden, wenn sie Quecksilber, Blei, Cadmium oder Chrom (VI), polybromierte Biphenyle (PBB) oder polybromierte Diphenylether (PBDE) sowie bestimmte Phthalate enthalten. Höchstkonzentrationswerte bis zu maximal 0.1% werden toleriert, für Cadmium maximal 0.01%.

3.1.1.5 Recyclingfähigkeit

Auch die Recyclingfähigkeit von elektrischen Betriebsmitteln ist ein wichtiges Thema im Hinblick auf die Produkte-Konformität. Die EU-Richtlinie 2012/19/EU über Elektro- und Elektronik-Altgeräte (WEEE) legt Anforderungen an die Sammlung, Verwertung und Entsorgung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten fest. Diese Richtlinie soll die Recyclingquote von Altgeräten erhöhen und die Umweltbelastung durch diese Geräte reduzieren. In der Schweiz werden ähnliche Anforderungen durch die «Verordnung über die Rückgabe, die Rücknahme und die Entsorgung elektrischer und elektronischer Geräte» (VREG - 814.620) gestellt.

3.1.1.6 Besonderheiten bezüglich Zulassung von Prototypen

Gemäss Artikel 8 der Verordnung über elektrische Niederspannungserzeugnisse (NEV) muss der Hersteller respektive Importeur eine Konformitätserklärung vorlegen, um ein Produkt auf dem Markt bereitzustellen. Als «Marktbereitstellung» gilt dabei gemäss Artikel 2 der NEV respektive der Richtlinie 2014/35/EU «jede entgeltliche oder unentgeltliche Abgabe eines elektrischen Betriebsmittels». Die Richtlinie 2014/35/EU definiert in Anhang II Ausnahmen für Betriebsmittel, die nicht unter die Richtlinie fallen. Darunter ist auch:

«Kunden- und anwendungsspezifisch angefertigte Erprobungsmodule, die von Fachleuten ausschliesslich in Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen für ebensolche Zwecke verwendet werden».

Art. 13 der NEV schreibt für Erprobungsmodule vor, dass diese den anerkannten Regeln der Technik entsprechen müssen, wie sie in den international harmonisierten Normen der Internationalen elektrotechnischen Kommission (IEC), des Europäischen Komitees für elektrotechnische Normung (CENELEC) und - wo solche fehlen – schweizerische Normen festgelegt sind. Bestehen keine spezifischen technischen Normen, so sind sinngemäss anwendbare Normen oder allfällige technische Weisungen zu berücksichtigen.

Ob diese Ausnahme in Anhang II der 2014/35/EU bzw. Art. 13 der NEV auch für die induktive Ladestationen gelten, wie sie im Rahmen dieses Projektes betrieben werden, ist zumindest fraglich. Einerseits werden diese nicht ausschliesslich von Fachleuten bedient, andererseits sollen sie zugänglich und somit ausserhalb von Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen installiert und betrieben werden.

Für Prototypen im Rahmen von Forschungs- sowie Pilot- und Demonstrations-Projekten ist es jedoch gängige Praxis, Anlagen oder Geräte auch ohne Konformitätsnachweis bzw. CE-Zertifizierung in Betrieb zu nehmen. Hierzu wird vom Hersteller des Systems sowie der Betreiberin eine ausführliche Risikoanalyse erstellt, aus welcher die evaluierten Sicherheitsrisiken sowie die dagegen getroffenen Massnahmen



hervorgehen. Auf Grundlage dieser Risikoanalyse kann die für den Anschluss ans Netz zuständige Fachkraft entscheiden, ob eine Installation und Inbetriebnahme des Systems oder der Komponenten verantwortbar ist oder nicht. Im Rahmen des vorliegenden Projektes erfolgt dies bei der Ladestation der Eniwa durch eigene Installationsfachleute und bei der Ladestation an der Empa durch den technischen Dienst der Empa. Die beiden Stellen kennen die anerkannten Regeln der Technik sehr gut und verfügen über die nötigen Qualifikationen und Fachausweise.

3.1.1.7 Fazit

Auch wenn die Richtlinien eine Konformitätserklärung für die Bereitstellung auf dem Markt fordern, scheint der Betrieb des Prototypensystems im Rahmen dieses Projektes möglich zu sein. Die durchgeführte Risikoanalyse im Anhang für den Standort Eniwa weist darauf hin, dass das Risiko als gering eingestuft werden kann. Zudem wird das Personal entsprechend geschult und instruiert, wodurch die Anforderungen der Verordnung grundsätzlich erfüllt sein dürften. Damit wird gewährleistet, dass der Betrieb des Prototypens sicher und im Einklang mit den geltenden Vorgaben erfolgen kann. Es ist davon auszugehen, dass alle wesentlichen Voraussetzungen für einen ordnungsgemässen Betrieb erfüllt sind, was der Fortführung des Projekts den Weg ebnet.

3.1.2 Zulassungsverfahren für Fahrzeuge

In der Schweiz und der europäischen Gemeinschaft unterliegen Fahrzeuge einem Genehmigungsverfahren. Dieses unterscheidet sich grundlegend von der Erlangung der Marktauglichkeit nicht automobilspezifischer Geräte: Während die meisten anderen Geräte der Hersteller-Eigendeklarationen unterstehen, müssen Fahrzeuge für den Strassenverkehr einem (Typ-)Genehmigungsverfahren unterzogen werden. Anschliessend können genehmigte Fahrzeuge für die Teilnahme am öffentlichen Strassenverkehr zugelassen werden. In diesem Zusammenhang ist es wichtig zu verstehen, dass es sich bei der Fahrzeuggenehmigung um das behördliche Validieren eines Prüfberichtes / Gutachtens einer Prüfstelle (APS) respektive eines technischen Dienstes (TD) hinsichtlich der Konformität mit den gesetzlichen Anforderungen handelt. Die Zulassung hingegen bezeichnet einen Verwaltungsakt, bei dem vorgängig genehmigten Fahrzeugen ein Halter, ein Kennzeichen sowie eine Versicherung zugeordnet wird: Die Zulassung bezeichnet demzufolge die amtliche Erlaubnis zur Teilnahme am öffentlichen Strassenverkehr.

Die Fahrzeuggenehmigung ist innerhalb der EU wie auch in der Schweiz weitestgehend harmonisiert, die Fahrzeugzulassung ist hingegen länderspezifisch respektive kantonale geregelt.

In der Schweiz liegt die Zulassungshoheit für Fahrzeuge bei den Kantonen, vertreten durch die Strassenverkehrsämter. Diese Ämter führen die Prüf- und Zulassungsverfahren für Fahrzeuge durch und stellen sicher, dass sie den geltenden Sicherheits- und Qualitätsstandards entsprechen.

Für die Zulassung eines Einzelfahrzeugs mit induktivem Ladesystem sind folgende Schritte nötig:

3.1.2.1 Befreiung/Änderung der Typgenehmigung

Fahrzeuge ohne Typgenehmigung, sowie typgeprüfte Fahrzeuge, welche umgebaut wurden, unterstehen der Einzelprüfung (Befreiung respektive Änderung der Typgenehmigung) beim zuständigen kantonalen Strassenverkehrsamt.

Dabei soll sichergestellt werden, dass auch nachträglich abgeänderte Fahrzeuge den Anforderungen der europäischen Typgenehmigungsverordnung (VO (EU) 2018/858) respektive der schweizerischen Verordnung über die technischen Anforderungen an Strassenfahrzeuge (VTS – 741.41) entsprechen. Die umgebauten Fahrzeuge müssen grundsätzlich jenen Bestimmungen entsprechen, welche zur Zeit der Erstinverkehrssetzung gültig waren.

Als Nachweis der für die Konformität der umgebauten Fahrzeuge, Baugruppen oder Systeme sind zur Prüfung beim Strassenverkehrsamt Prüfberichte anerkannter Prüfstellen beizulegen.

Für die Zulassung eines mit induktivem Ladesystems umgerüsteten Fahrzeugs sind demzufolge die nachfolgend aufgeführten Schritte notwendig:



3.1.2.2 Durchführung von EMV-Messungen

Gemäss den Vorschriften der Verordnung über die elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten (VEMV) sind EMV-Messungen an einer anerkannten Prüfstelle durchzuführen. Diese Messungen dienen dem Nachweis, dass das induktive Ladesystem weder elektromagnetische Störungen verursacht noch selbst durch solche Störungen beeinflusst werden kann.

3.1.2.3 Prüfung der elektrischen Sicherheit

Die elektrische Sicherheit des Fahrzeugs muss gemäss den Richtlinien der Niederspannungsrichtlinie (NEV) überprüft werden. Die NEV-Richtlinie legt die Anforderungen an die elektrische Sicherheit von Fahrzeugen fest. Die Einhaltung dieser Anforderungen muss von einer anerkannten Prüfstelle geprüft und mittels Konformitätsbewertung oder einem Prüfbericht bestätigt werden.

Für detaillierte Informationen zu den Anforderungen an die elektrische Sicherheit und der elektromagnetischen Verträglichkeit von Strassenfahrzeugen verweisen wir auf das Fact-Sheet «Erläuterungen zum Nachweis der elektrischen Sicherheit und elektromagnetischen Verträglichkeit von Strassenfahrzeugen und deren Komponenten», bereitgestellt vom Bundesamt für Strassen (ASTRA), dem Bundesamt für Energie (BFE) sowie dem Bundesamt für Kommunikation (BAKOM) .

3.1.2.4 Vorlage der Unterlagen beim Strassenverkehrsamt

Nach erfolgreicher Durchführung der EMV-Messungen und der Überprüfung der elektrischen Sicherheit müssen die Prüfberichte der anerkannten Prüfstellen beim Strassenverkehrsamt vorgelegt werden.

3.1.2.5 Abschliessende Inspektion und Zulassung

Das Strassenverkehrsamt wird die eingereichten Unterlagen prüfen und das Fahrzeug einer abschliessenden Inspektion unterziehen, um sicherzustellen, dass es den geltenden Vorschriften und Sicherheitsstandards entspricht. Da es sich bei der Installation der Sekundärspule um eine mechanisch triviale Modifikation handelt, kann die Überprüfung der mechanischen Befestigung, der Fussgängerschutzvorrichtung und der minimalen Bodenfreiheit direkt bei dem Strassenverkehrsamt erfolgen. Auf eine vorgängige Prüfung einer anerkannten Prüfstelle kann verzichtet werden.

Nach erfolgreicher Prüfung wird dem Fahrzeug die Zulassung erteilt und somit befähigt, am Strassenverkehr teilzunehmen.

3.1.2.6 Probleme des Genehmigungsverfahrens betreffend kabelloses Laden

Für die Einzelzulassung des umgerüsteten Fahrzeuges in der Schweiz sind also vor allem die Nachweise der elektrischen Sicherheit nach NEV sowie der elektromagnetischen Verträglichkeit nach VEMV von grosser Bedeutung. Der EMV-Nachweis stellt eine besondere Herausforderung dar, da die bestehenden Vorschriften, namentlich die UN-R10, das induktive Laden (noch) nicht abdecken. Dies führt zu einer regulatorischen Lücke, die es erschwert, die elektromagnetische Verträglichkeit für Fahrzeuge, die nachträglich mit einem induktiven Ladesystem ausgestattet wurden, zu homologieren. Die Prüfstelle hat zwar die Möglichkeit, alternative Normen heranzuziehen, hier sei vor allem die IEC 61980 erwähnt, welche sich explizit mit EMV von kabellosen Ladern befasst. Allerdings sind in diesem Standard keine spezifischen Messungen am vervollständigten Fahrzeug vorgesehen. Zudem sind einige Messungen nach IEC 61980 am Fahrzeug aus praktischen Gründen nicht durchführbar, da beispielsweise die Zugänglichkeit nicht gegeben ist.

Dies bedeutet, dass für eine solche Nachrüstung ein individueller Ansatz erforderlich ist, der sowohl die Sicherheit des Fahrzeugs als auch die Einhaltung der elektromagnetischen Vorschriften gewährleistet. Darüber hinaus aber auch die spezifischen Herausforderungen für Messungen am vervollständigten Fahrzeug berücksichtigt. Welche Messungen nach welchen Standards für den konkreten Fall zusammen mit der Prüfstelle definiert wurden, zeigt der Absatz 4.2.



3.1.3 Homologation des Serienproduktes

Die Genehmigungsverfahren für Fahrzeuge mit kabellosen Ladesystemen als Serienprodukt weichen in einigen Punkten von den Verfahren für Prototypen ab, die in den vorherigen Abschnitten beschrieben wurden. Die Anforderungen an die Markttauglichkeit der Ladestationen bleiben jedoch unverändert (gem. Absatz 3.1.1), da für Prototypen ohnehin nur geringfügige Ausnahmen gemacht werden können.

Bei der Fahrzeuggenehmigung ist zwischen zwei Szenarien zu unterscheiden: Einerseits die Nachrüstung (Retrofit) von bereits typgenehmigten Fahrzeugen mit einem kabellosen Ladesystem und andererseits die Integration des Systems durch den Fahrzeughersteller (OEM).

3.1.3.1 OEM-Integration

Werden Fahrzeuge bereits am Werk vom Fahrzeughersteller mit induktiven Ladesystemen versehen, scheinen die Genehmigungsfragen relativ klar definiert zu sein. Sämtliche technischen Anforderungen an die jeweilige Fahrzeugkategorie sind unabhängig vom Ladesystem einzuhalten. Aber auch hier macht es Sinn, die Anforderungen an die elektromagnetische Verträglichkeit etwas detaillierter auszu-leuchten:

Die Verordnung (EU) 2018/858, auch bekannt als Rahmenverordnung, verweist für den Genehmigungsgegenstand D2, «Funkentstörung & elektromagnetische Verträglichkeit», auf die Verordnung (EU) 2019/2144, auch bekannt als «General Safety Regulation» respektive «GSR2». Die GSR2 wiederum verweist in Artikel 4, Ziffer 2 unter Bezug auf Anhang I auf die UN-Regelung Nr. 10 in der Änderungsreihe 05. Allerdings wird in der UN-R10 induktives Laden nicht behandelt, auch nicht in der aktuellen Revision 06. Sogar im Entwurf der Revision 07, welcher aktuell vom «Inland Transport Committee» der UNECE erarbeitet wird, ist kabelloses Laden kein Thema.

Es ist zu vermuten, dass die UNECE und/oder die EU-Kommission demnächst Klarheit schaffen und entsprechende Anforderungen veröffentlichen werden. So lange bleibt aber unklar, ob eine Prüfung nach IEC 61800 für die Ladeinfrastruktur sowie nach UN-R10 ohne Aktivierung des kabellosen Ladens als Nachweis genügen.

Die Autoren gehen aber nach aktuellem Wissensstand (November 2024) davon aus, dass der EMV-Nachweis gemäss IEC 61800 zu erfolgen hat und demzufolge an einem Mock-Up und nicht am Fahrzeug gemessen wird. Zudem dürfte das Fahrzeug nach UN-R10 geprüft werden, dabei aber dürfte (der Regelung entsprechend) das induktive Laden unberücksichtigt bleiben.

3.1.3.2 Retro-Fit

Die Genehmigung der fahrzeugseitigen Installation als Retro-Fit unterscheidet sich nur unwesentlich von jener der Zulassung der Prototypen. Das heisst: für die Zulassung der Fahrzeuge ist der Nachweis der elektrischen Sicherheit und elektromagnetischen Verträglichkeit zu erbringen.

Die Prüfstellen müssen jedoch nicht zwingend jedes einzelne Fahrzeug separat messen und bewerten. Stattdessen können sie für identische Fahrzeugtypen eine Erklärung ausstellen, indem sie sich auf den Prüfbericht eines bereits geprüften Fahrzeugs beziehen. Eine alternative Möglichkeit besteht darin, eine Konformitätsbewertung für einen bestimmten Fahrzeugtyp oder sogar für eine gesamte Modellreihe zu erstellen. Voraussetzung dafür ist, dass der Hersteller des Ladesystems einen Nachweis über die Übereinstimmung der Produktion beibringen und der Prüfstelle anhand von Fahrzeug-Typgenehmigungsdokumenten glaubhaft gemacht werden kann, dass auch die Fahrzeuge in allen relevanten Punkten baugleich sind.

3.1.4 Normen und gesetzliche Anforderungen im Überblick

Die in den vorherigen Abschnitten aufgeführten Schweizer Verordnungen verweisen zum Teil auf im Bundesblatt veröffentlichte Normen, in anderen Fällen auf sogenannte «anerkannte Regeln der Technik». Als anerkannte Regeln der Technik werden wiederum international harmonisierte Normen angesehen. In den Richtlinien der EU ist dies, mit Ausnahme des Typgenehmigungsverfahrens für Kraftfahrzeuge, gleich gelöst. Im Rechtsrahmen für die Fahrzeuggenehmigung sind die anzuwendenden Normen



in den meisten Fällen direkt benannt. Dies kann zur Folge haben, dass eine alte Fassung eines Standards weiter Gültigkeit behält, namentlich dann, wenn in den Richtlinien eine Fassung des Standards mitsamt dessen Veröffentlichungsdatum aufgeführt ist (statische Rechtsübernahme). Fehlt das Datum, wird auch hier eine neue Fassung einer Norm automatisch übernommen (dynamische Rechtsübernahme).

3.1.4.1 IEC-, SAE- und ISO-Normen

Im Bereich der kabellosen Energieübertragung für Elektrofahrzeuge sind die wichtigsten und weltweit anerkannten Normen SAE J2954 (SAE = Society of Automotive Engineers), IEC-61980 (IEC = International Electrotechnical Commission) sowie die ISO 19363 (ISO = International Organization for Standardization). Diese Organisationen haben zudem untereinander Vereinbarungen getroffen, um die Standardisierung von Fahrzeuganwendungen zu harmonisieren. Während die SAE J2954 einen systemweiten Standard für das kabellose Laden von Elektrofahrzeugen bereitstellt, befasst sich IEC 61980 nur mit der netzseitigen Ausrüstung, die ISO 19363 wiederum behandelt die fahrzeugseitigen Anforderungen. So arbeiten diese Normen alle zusammen, um eine globale Interoperabilität von induktiven Ladesystemen zu gewährleisten.

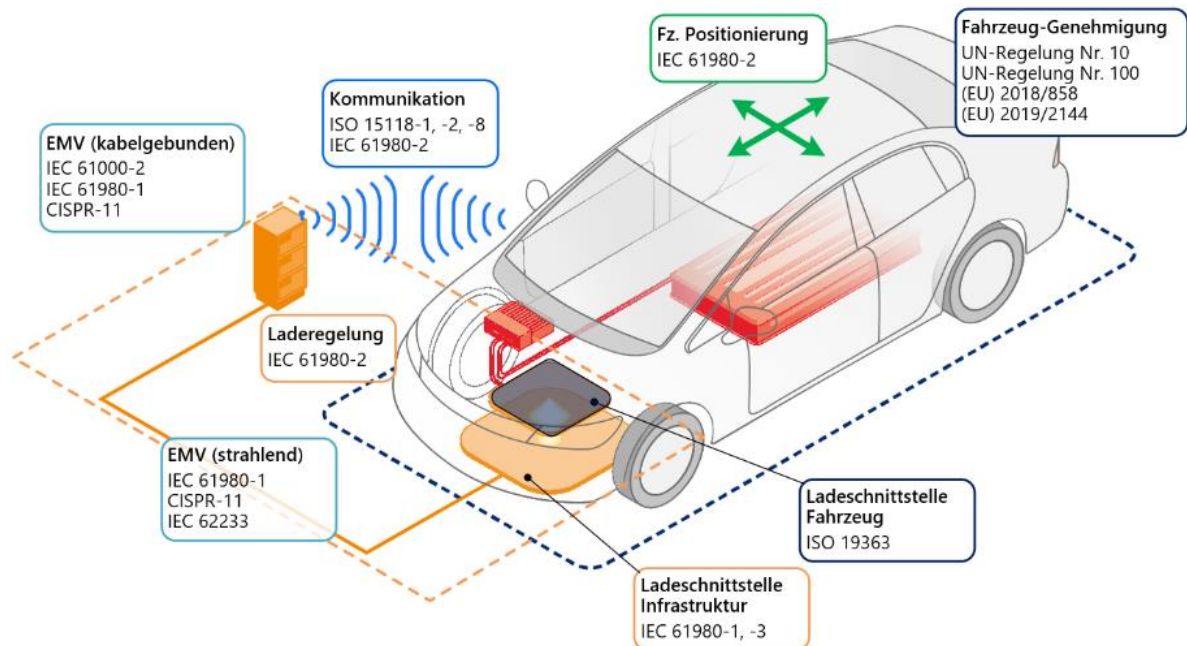


Abbildung 7: Übersicht genehmigungsrelevante Anforderungen (Quelle: eigene Grafik auf Basis der VDE Normungs-Roadmap)



3.1.4.2 Geräteklassen

Die IEC 61980 unterscheidet bezüglich elektromagnetischer Verträglichkeit zwei Klassen an Geräten:

1. Klasse A

Für den Gebrauch an allen Standorten ausser denen, die sich im Wohnumfeld befinden oder an ein Niederspannungsnetz angeschlossen werden, welches für Wohnzwecke genutzte Gebäude versorgt.

2. Klasse B

Anwendung in Wohnumgebungen.

Das heisst: Geräte, die in industriellen Umgebungen mit höherer elektromagnetischer Strahlung eingesetzt werden, müssen toleranter sein, dürfen aber auch selbst mehr Strahlung abgeben. Diese Geräte werden als Klasse-A-Geräte bezeichnet. Im Gegensatz dazu sind Geräte der Klasse B für den Einsatz in Wohnräumen und -quartieren mit geringerer Strahlung ausgelegt. Sind am gleichen Transformator beide Nutzungsarten betroffen, so gilt die jeweils strengere Vorgabe.

Für die Markteinführung eines induktiven Ladesystems müssen demzufolge mindestens die Grenzwerte der Klasse A für die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) eingehalten werden. Um es jedoch auch in Wohnquartieren installieren zu dürfen, müssen die strengeren Grenzwerte der Klasse B erfüllt werden.

3.1.4.3 UN-Regelungen

UN-Regelungen werden von der «Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen» (UNECE) respektive deren Arbeitsgruppe «Weltforum für die Harmonisierung der Regelungen für Fahrzeuge» (WP.29) erarbeitet. Sie regeln technische Anforderungen an die Sicherheit und Umweltverträglichkeit von Fahrzeugen und Fahrzeugteilen. Die UNECE verfügt jedoch nicht über eine Rechtsetzungs-kompetenz. Das bedeutet, dass die Vertragsparteien - wozu auch die EU und die Schweiz zählen - die UN-Regelungen in nationales Recht überführen müssen, bevor sie in den jeweiligen Ländern verbindlich werden.

Im Gegensatz zu den Typpengenehmigungsrichtlinien der EU sind UN-Regelungen aber international (quasi Weltweit) anerkannt. Zudem verweist in vielen Fällen das EU-Recht direkt auf UN-Regelungen oder sie definiert identische Anforderungen in eigenen Rechtsakten. Der Einfachheit halben werden im Rahmen dieses Berichtes deshalb jeweils nur die UN-Regelungen erwähnt.



3.1.4.4 Normenübersicht an kabelloses Laden von Elektrofahrzeugen

In der nachfolgenden Tabelle sind einige der wichtigsten Normen und Regelungen, welche das kabellose Laden von Elektrofahrzeugen betreffen, zusammengefasst.

Tabelle 2: Normen und Regelungen betreffend des kabellosen Ladens von Elektrofahrzeugen

<i>Nummer</i>	<i>Titel</i>	<i>Allgemeine Anforderungen</i>	<i>Fahrzeugtechnik</i>	<i>Ladeschnittstelle</i>	<i>Kabelloses Laden</i>
ISO 15118-1	Strassenfahrzeuge - Kommunikationsschnittstelle zwischen Fahrzeug und Ladestation - Teil 1: Allgemeine Informationen und Festlegungen der Anwendungsfälle	x	x	x	x
ISO 15118-2	Strassenfahrzeuge - Kommunikationsschnittstelle zwischen Fahrzeug und Ladestation - Teil 2: Anforderungen an das Netzwerk- und Anwendungsprotokoll	x	x	x	
ISO 15118-8	Strassenfahrzeuge - Kommunikationsschnittstelle zwischen Fahrzeug und Ladestation - Teil 8: Anforderungen an physikalische- und Datenverbindungsschnittstelle zur drahtlosen Kommunikation		x		x
IEC 61980-1	Kontaktlose Energieübertragungssysteme (WPT) für Elektrofahrzeuge - Teil 1: Allgemeine Anforderungen			x	x
IEC 61980-2	Kontaktlose Energieübertragungssysteme (WPT) für Elektrofahrzeuge - Teil 2: Besondere Anforderungen für die Kommunikation zwischen Elektrofahrzeugen und Infrastruktur			x	x
IEC 61980-3	Kontaktlose Energieübertragungssysteme (WPT) für Elektrofahrzeuge - Teil 3: Spezifische Anforderungen für die kontaktlosen Energieübertragungssysteme mit Magnetfeld			x	x
ISO 19363	Elektrisch angetriebene Strassenfahrzeuge - Drahtlose magnetische Energieübertragung - Sicherheit und Interoperabilitätsanforderungen		x	x	x
UN R10	Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Fahrzeugen hinsichtlich der elektromagnetischen Verträglichkeit	x	x		
UN R100	Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Fahrzeuge hinsichtlich der besonderen Anforderungen an den Elektroantrieb	x	x		



3.1.5 Begriffsdefinitionen

Fahrzeuggenehmigung:	behördliches validieren des Prüfberichtes / Gutachtens einer Prüfstelle (APS) oder eines technischen Dienstes (TD) auf Konformität mit den gesetzlichen Anforderungen
Fahrzeugprüfung:	die physische oder rechnerische Prüfung des Fahrzeuges oder Systems bei einer Prüfstelle (APS) oder technischem Dienst (TD)
Fahrzeugzulassung:	Verknüpfung des Fahrzeuges mit einem Halter, einem Kennzeichen und einer Versicherung und amtliche Erlaubnis zur Teilnahme am Strassenverkehr
Anerkannte Prüfstelle (APS):	vom ASTRA anerkannte Prüfstelle (gem. Anhang 2, TGV - 741.511)
Technischer Dienst (TD):	Eine nach EU-Recht benannte Stelle zur Durchführung von Prüfungen an Fahrzeugen und Fahrzeugteilen (entspricht APS in der Schweiz)
Notified Body (NB):	englische Bezeichnung für einen Technischen Dienst nach EU-Recht
Konformitätserklärung:	vom Hersteller abgegebene Erklärung, dass ein Fahrzeugteil, Fahrzeugsystem oder ein Ausrüstungsgegenstand den für die Zulassung in der Schweiz technischen Anforderungen entspricht
Konformitätsbewertung:	schriftlicher Nachweis anhand eines Prüfberichtes einer APS, dass ein Gegenstand den schweizerischen Vorschriften entspricht
Konformitätsbeglaubigung:	schriftlicher Nachweis anhand eines Prüfberichtes einer ausländischen Prüfstelle, dass ein Gegenstand den schweizerischen Vorschriften entspricht
EMV / EMC-Messung:	EMV-Messungen dienen dem Nachweis der elektromagnetischen Verträglichkeit. Mit diesen Messungen und unter Berücksichtigung der geltenden EMV-Normen wird sichergestellt, dass elektronische Geräte oder Systeme nicht unerwünscht von elektromagnetischen Feldern beeinflusst werden (Immunität) oder selbst Störungen in anderen elektronischen Geräten oder Systemen verursachen (Emissionen).
NEV:	Verordnung über elektrische Niederspannungserzeugnisse regelt die Sicherheitsanforderungen für elektrische Geräte, die mit einer Nennspannung bis zu 1000 V Wechselspannung oder bis zu 1500 V Gleichspannung betrieben werden
NIV:	Niederspannungs-Installationsverordnung regelt die Anforderungen für elektrische Installationen, die mit einer Nennspannung von höchstens 1000 V Wechselspannung oder 1500 V Gleichspannung betrieben werden
VEMV:	Verordnung über die elektromagnetische Verträglichkeit regelt die Anforderungen an Betriebsmittel und Geräte, welche elektromagnetische Störungen verursachen können
TGV:	Verordnung über die Typengenehmigung von Strassenfahrzeugen
VTS:	Verordnung über die technischen Anforderungen an Strassenfahrzeuge



3.2 User-Experience – Forschungsfragen und Methodik

Die existierende Forschungsliteratur zu induktivem Laden von Personenwagen fokussiert sich hauptsächlich auf hypothetische Optimierungsstudien, wie optimale Anordnung von Parkplätzen (Dandl et al., 2020), Ableitung des Standorts induktiver Ladeeinrichtungen (Ngo et al., 2020), oder optimales Design der Induktionsplatte (Ahmad et al., 2019). Weiter gibt es einige technische Reviews wie beispielsweise (Mohammed & Jung, 2021). Studien zur Nutzerakzeptanz sind hingegen rar und meistens nicht mehr aktuell (Fett et al., 2018; Frenzel et al., 2015). Während Pilotprojekte für E-Taxis umgesetzt und getestet wurden (Waluga, 2023), gibt es, gemäss momentanem Kenntnisstand, keine aktuelle Forschung zur Nutzerakzeptanz von induktivem Laden für E-Carsharing.

Gerade in Hinsicht auf den wachsenden E-Carsharing Markt und den Vorteilen von induktivem Laden, wie beispielsweise eine einfachere Handhabung für die Kunden, ist es wichtig zu verstehen, inwiefern induktives Laden die Akzeptanz und Nutzung von E-Carsharing erhöhen kann. Da E-Carsharing Mobilitätsnutzer, welche keine E-Autos besitzen, die Möglichkeit gibt, erste Erfahrungen mit der Elektromobilität zu machen, kann eine positive Erfahrung mit E-Carsharing grundsätzlich dem Wandel zur Elektrifizierung der Personenwagenflotte beitragen (Schlüter & Weyer, 2019).

Stützend auf die Literatur, werden deshalb folgenden zentralen Forschungsfragen für die User-Experience abgeleitet:

1. Erhöht induktives Laden den Komfort der Nutzung von E-Carsharing gegenüber konduktivem Laden?
2. Erhöht die Möglichkeit zu induktivem Laden die Offenheit, E-Carsharing zu nutzen?
3. Welche Hürden bei der Nutzung von induktiven Laden in E-Carsharing Systemen gilt es zu überwinden?

Um diese Forschungsfragen zu beantworten, wird als erstes anhand einer umfassenden Literaturanalyse der aktuelle Forschungsstand zur Akzeptanz von induktivem Laden und Nutzererfahrungen evaluiert. Dies ermöglicht das Präzisieren der Forschungslücke und hilft bei der Erstellung des Forschungsdesigns und der Umfragen.

Aufbauend auf dieser Literaturanalyse werden drei verschiedene Umfragen durchgeführt:

1. Baseline-Umfrage mit aktuellen E-Carsharing Nutzenden von Swiss E-Car (Test- und Kontrollgruppe)
2. Kurze Umfrage nach Nutzung der induktiven Ladestationen und Fahrzeugen (Testgruppe)
3. Endline-Umfrage mit allen Nutzenden der induktiven Ladestationen und Fahrzeugen (Testgruppe)

In der Baseline-Umfrage wird eine Stichprobe von $N = 150$ angestrebt. Dadurch können Kohorten-Analysen, Segmentierungen und multiple Regressionen durchgeführt werden. Dies ermöglicht eine Ableitung von Empfehlungen für spezifische Zielgruppen von E-Carsharing Nutzenden und trägt somit zu einer höheren Akzeptanz von Massnahmen und Empfehlungen bei.

Die kurze Umfrage nach jeder Nutzung dient der Erfassung der effektiven Nutzererfahrung wie beispielsweise der Zufriedenheit oder Probleme in der Nutzung. Über den Zeitraum der Testphase können so wichtige Rückmeldungen erfasst werden, die den Betrieb der Ladestationen optimieren und auch die Nutzung der Stationen erhöhen können.

Die Endline-Umfrage wird so gestaltet, dass Vergleiche mit der Baseline-Umfrage möglich sind. So kann z.B. die Zufriedenheit der Nutzung von induktiven Ladestationen mit konventionellen Ladestationen verglichen werden. Das Ziel wäre, mindestens 50 Teilnehmende der Testgruppe in der Endline-Umfrage zu erhalten. Die Daten werden mit geeigneten statistischen Programmen wie IBM SPSS Statistics oder R analysiert.



Abbildung 8 zeigt eine Übersicht des Forschungsdesigns.

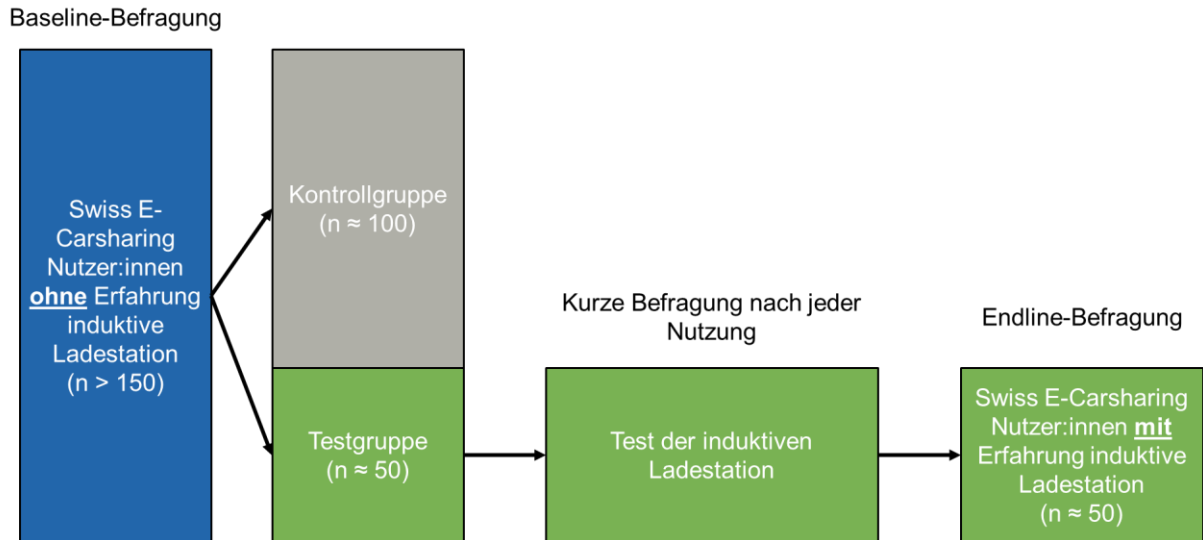


Abbildung 8: Übersicht zum Forschungsdesign der User-Experience

Als letzter Schritt werden die Ergebnisse evaluiert, mit den Fahrzeugnutzungsdaten der Befragten zusammengefasst, und schliesslich Massnahmen zur Erhöhung von induktiven Laden diskutiert und validiert.

4 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

4.1 Umbau des ersten Fahrzeugs

Die Bestellung des induktiven Ladesystems von WiTricity erfolgte Ende 2023 im Rahmen der Fahrzeugumrüstung durch Eniwa. Aufgrund zusätzlichen Qualitätsprüfungen beim Hersteller verzögerte sich die Lieferung jedoch und erfolgte erst Mitte Januar. Dies führte zu einem straffen Zeitplan, der durch die Zollabwicklung (Schweiz / Deutschland) zusätzlich erschwert wurde, da ABT e-Line GmbH in Kempten nur ein begrenztes Zeitfenster für die Umrüstung des Fahrzeugs zur Verfügung hatte. Hinzu kam, dass der Termin im EMC-Testlabor in Regensburg, der aufgrund hoher Auslastung bereits fest gebucht war, nur wenige Tage nach dem geplanten Abschluss des Umbaus bei ABT lag. Ein Verpassen dieses Termins hätte das Projekt bereits zu Beginn um mehrere Wochen, wenn nicht Monate, verzögern können.

Das umzurüstende Fahrzeug, ein VW ID.5, wurde von Eniwa bereits im Vorfeld für das Projekt erworben, neugestaltet und in Buchs stationiert. Neben den Logos der Projektpartner wurde der Slogan „Induktives Laden – kabellos voller Energie“ angebracht, um auf die innovative Technologie aufmerksam zu machen.

Für die technische Umrüstung arbeitete ABT e-Line GmbH eng mit WiTricity zusammen. Ein Mitarbeiter von WiTricity reiste nach Deutschland um den Prozess vor Ort zu unterstützen und um das enge Zeitfenster einzuhalten. Gleichzeitig stellte WiTricity ein eigenes, baugleiches Fahrzeug für den Umbau bei ABT bereit. Dieses Fahrzeug dient dazu, in ihrem eigenen Labor parallel Analysen durchzuführen und die Funktion des Ladesystems noch detaillierter zu prüfen. Der Transport beider Fahrzeuge zwischen Mägenwil in der Schweiz und Kempten in Deutschland organisierte ABT. Dabei wurde ein Zollverfahren der aktiven Veredelung angewendet, um einen möglichst reibungslosen Grenzübertritt zu gewährleisten. Eniwa wurde bei der Abwicklung der Zollformalitäten von der TISA Speditions AG unterstützt.



Die Umrüstung der beiden VW ID.5 umfasste die vollständige Integration des induktiven Ladesystems, einschliesslich notwendiger Anpassungen der elektrischen Systeme. Nach Abschluss der Arbeiten wurden die Fahrzeuge nach Mägenwil zurücktransportiert und weiteren Tests unterzogen, bevor sie in den Pilotbetrieb überführt wurden.

4.1.1 Bericht Umbauarbeiten ABT eLine GmbH

Die Firma ABT eLine GmbH wurde beauftragt, ein induktives Ladesystem des Herstellers WiTricity in ein bestehendes batterieelektrisches Fahrzeug vom Typ VW ID. 5 zu integrieren. Im Folgenden sind neben der Beschreibung des Systems die einzelnen Schritte des Umbaus dargestellt und beschrieben.

4.1.1.1 Anlagenbeschreibung

Das gesamte induktive Ladesystem besteht einerseits aus einer Wallbox mit einer Bodeneinheit (Ground Assembly) und andererseits aus einer Fahrzeugeinheit (Vehicle Assembly - VA), die im Unterboden des Fahrzeugs montiert wird.

Darüber hinaus sind weitere Komponenten wie Relais, Sicherungen, Steuergeräte, ein Display sowie die entsprechenden Kabelbäume Bestandteil des Integrationskits, das von der Firma ABT e-Line GmbH entwickelt und in einem VW ID. 5 der Firma Eniwa AG verbaut wurde.

Der schematische Aufbau ist in Abbildung 9 dargestellt. Die Verbindungen in Orange sind Hochvoltverbindungen des batterieelektrischen Fahrzeugs (Spannung ca. 400V DC). Die lilafarbenen Verbindungen zeigen schematisch Steuer- und Versorgungsleitungen innerhalb des Fahrzeugs.

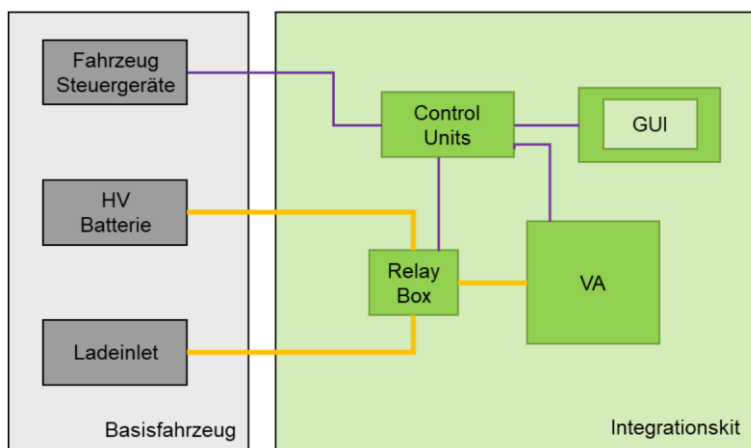


Abbildung 9: Schematischer Aufbau Fahrzeugintegration

Im Fahrzeug sind die Komponenten des Integrationskits auf verschiedene Stellen verteilt. So sind die Vehicle Assembly und die Relais im Unterboden im Bereich hinter der Vorderachse installiert; weiterhin wurden die Steuergeräte hinter der Seitenverkleidung im Kofferraum platziert. Sicherungsabgänge zur Spannungsversorgung (12V) der elektronischen Komponenten befinden sich im Motorraum, wohingegen das Display im Innenraum des Fahrzeugs im Bereich der Mittelkonsole angebracht ist.

Da die Vehicle Assembly im Ladebetrieb aktiv gekühlt werden muss, wird sie in Kühlkreislauf des Fahrzeuges integriert.



4.1.1.2 Dokumentation der Fahrzeugintegration

Um das Integrationskit, deren Einzelkomponenten sich auf verschiedene Stellen im Fahrzeug verteilen, entsprechend zu installieren, müssen diverse Verkleidungen und Abdeckungen demontiert werden. So ist in Abbildung 10 beispielhaft die Demontage der Unterbodenabdeckung an der Fahrzeugfront im Installationsbereich der Vehicle Assembly dargestellt.



Abbildung 10: Demontage Unterbodenabdeckung vorne

4.1.1.3 Mechanische Arbeiten

Vor Montage im Fahrzeug werden verschiedene Baugruppen bereits vormontiert. Dazu wird die Relaisbox, die die Hochvoltanbindung der Vehicle Assembly an das Basisfahrzeug übernimmt, entsprechend verdrahtet. Neben Hochvoltverbindungen sind ebenfalls Steuerleitungen innerhalb der Relaisbox vorhanden, die über einen abgedichteten Automotive-Stecker nach aussen geführt werden. Die gesamte Relaisbox wird entsprechend abgedichtet, da sich diese im Nassbereich des Fahrzeugs befindet. Der Innenaufbau der vormontierten Relaisbox ist in Abbildung 11 dargestellt.

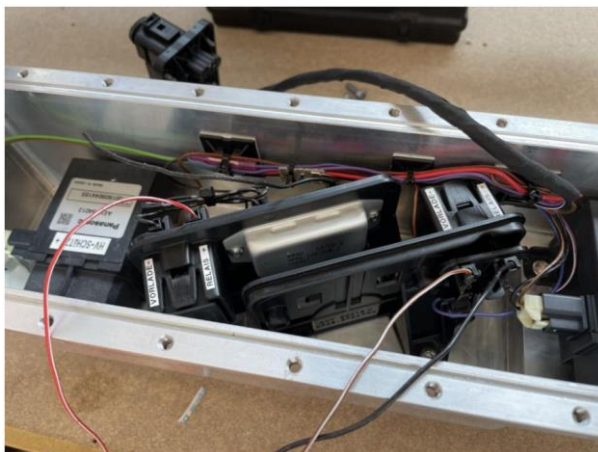


Abbildung 11: Innenaufbau der vormontierten Relaisbox



Im nächsten Schritt wird der Montagerahmen für den Einbau der Vehicle Assembly sowie der Relaisbox vorbereitet. Der vormontierte Aufbau ist in Abbildung 12 dargestellt.

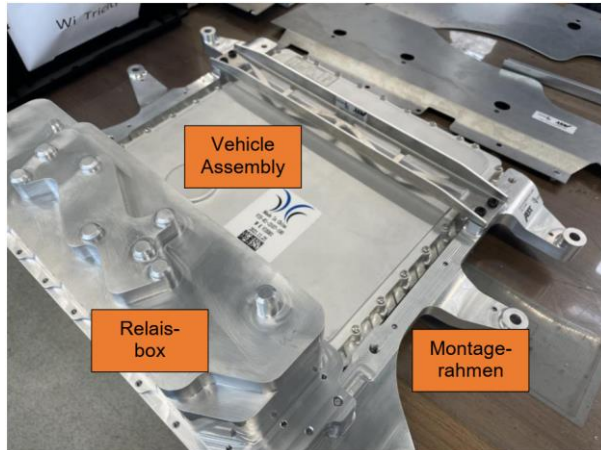


Abbildung 12: Vehicle Assembly inkl. Montagerahmen und Relaisbox

Der vorbereitete Fahrzeugunterboden ist in Abbildung 13 zu sehen. In Abbildung 14 sieht man den bereits installierten Montagerahmen sowie die Relaisbox und die vorbereiteten Kühlschläuche für die Integration der Vehicle Assembly in das bestehende Fahrzeugkühlsystem. Das final montierte Unterbodensystem mit Relaisbox, Vehicle Assembly (schwarz) sowie den Schirmblechen, die eine ungewollte Erhitzung metallischer Fahrzeugkomponenten aufgrund des Magnetfelds, das bei der induktiven Energieübertragung entsteht, verhindern, ist in Abbildung 15 dargestellt.



Abbildung 13: vorbereiteter Unterboden vor der Montage der Vehicle Assembly



Abbildung 14: Unterboden mit installiertem Montagerahmen und vorbereiteten Kühlschläuchen



Abbildung 15: Fertig installierter Unterboden inkl. Schirmbleche

4.1.1.4 Elektrische Arbeiten

Zur Regelung des Gesamtsystems werden mehrere Steuergeräte benötigt. Diese dienen u.a. zur Initialisierung, Überwachung sowie Beendigung des Ladevorgangs und darüber hinaus zur Visualisierung des Systemzustands.

Dazu werden mehrere Steuergeräte eingesetzt.

Abbildung 16 zeigt beispielhaft die Steuereinheit «Ladekommunikation», deren Mainboard mit verschiedenen Steuer- und Umschaltrelais bei der Firma. Abt e-Line GmbH selbst entwickelt wurde. Dieses sowie weitere Steuergeräte sind im Trockenbereich des Fahrzeugs, genauer gesagt im rechten Bereich des Kofferraums hinter der Innenraumverkleidung installiert.



Abbildung 16: Steuereinheit «Ladekommunikation»



Um die Komponenten, die wie oben beschrieben an verschiedenen Orten in das Fahrzeug integriert wurden, elektrisch mit Spannung zu versorgen sowie untereinander zu vernetzen und zu verbinden, sind sowohl Hochvolt- als auch Niedervoltleitungen notwendig. Als ein Beispiel ist der Kabelbaum des Niedervoltsystems (12V) in Abbildung 17 vor Installation in das Fahrzeug zu sehen.



Abbildung 17: Kabelbaum Niedervoltsystem (12 V) vor Fahrzeuginstallation

Dieser wird vom Motorraum an der Fahrzeugfront sowohl zum Fahrzeugunterboden als auch einmal komplett durch das Fahrzeug zu den Steuergeräten im Bereich des Kofferraums verlegt. Die Abbildung 18 und Abbildung 19 dokumentieren die Einbringung des Kabelbaums in das Fahrzeug.



Abbildung 18: Installation Kabelbaum im Fahrzeuginneren



Abbildung 19: Installation Kabelbaum im hinteren Fahrzeugbereich



Um den Systemzustand des Ladesystems zu visualisieren, sowie den Nutzer bei der Positionierung über der Ground Assembly anzuleiten, ist im Bereich der Mittelkonsole ein Display angebracht. Abbildung 20 zeigt beispielsweise die Bildschirmausgabe während des Verbindungsaufbaus mit der Wallbox.



Abbildung 20: Zusätzliches Display zur Visualisierung des Systemzustands

4.1.1.5 Inbetriebnahme und Test

Nach dem Einbau des induktives Ladesystem in das Fahrzeug wurden anschliessend die elektrische Inbetriebnahme des Gesamtsystems sowie verschiedene Tests durchgeführt. Bei den Tests wird zwischen sicherheitsrelevanten (beispielsweise Isolations- und Potentialausgleichsmessungen) und funktionalen Tests unterschieden. Es wurden Tests beider Kategorien durchgeführt, ohne im Rahmen dieses Kapitels im Detail darauf einzugehen.

Nach den beschriebenen umfangreichen Tätigkeiten wurde das Fahrzeug wieder dem Kunden Eniwa übergeben.

4.1.2 Ausgeführte Arbeiten WiTricity und Mess- und Prüfinstitute

Im Rahmen der Vormessungen bei WiTricity in Mägenwil wurden das System und seine Integration in das Eniwa-Fahrzeug getestet. Da das Eniwa-Fahrzeug eine andere VW Softwareversion (3.0 bzw. 3.2) verwendet als das zum Zeitpunkt der Entwicklung des Integrationskit verwendete WiTricity-Testfahrzeug, traten bei den Tests kleine Software-Bugs in der ABT-Software auf, die jedoch rasch von ABT behoben wurden. Längere Ladezyklen sowie wiederholte Start- und Stoppvorgänge bestätigten die Funktionsfähigkeit des Systems.

Um die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) des umgerüsteten Eniwa Fahrzeugs zu überprüfen, wurde das Fahrzeug ins EMC-Testcenter AG in Regensdorf transportiert. Der Transport von WiTricity in Mägenwil nach Regensdorf und zurück wurde durch die A. Meyer AG übernommen. Die Messungen zur EMV wurden am 15. Februar 2024 durchgeführt, um sicherzustellen, dass das induktive Ladesystem den geltenden Normen entspricht.



Während weiterer Tests bei WiTricity wurde ein Hardwarefehler im Ladesystem entdeckt. Ein defekter Chip führte dazu, dass Metallobjekte auf der Ladefläche fälschlicherweise erkannt wurden, was die Benutzerfreundlichkeit des Systems erheblich beeinträchtigte. Dieser Chip, der bei den Vortests nicht aufgefallen war, wurde in Zusammenarbeit mit der Empa sowohl im Eniwa- als auch im WiTricity-Fahrzeug ersetzt. Auch kleinere Softwareprobleme im Zusammenhang mit der Freigabe des Foreign Object Detection (FOD) Systems wurden identifiziert und behoben. Weitere Abklärungen und Anpassungen am System durch ABT sowie die Implementierung der überarbeiteten Hardware verbesserten die Leistung des Ladesystems.



Abbildung 21: Hardwaremodifikation am Witricity-Fahrzeugempfänger im Eniwa Fahrzeug bei der Empa

Im Falle einer Detektion eines Metallobjektes auf der Ladefläche ist eine Interaktion durch die benützende Person erforderlich, welche das Objekt entfernt und das System wieder freischalten muss. Eine weitere Modifikation zum Standard WiTricity Ladesystem war das Ersetzen des Freischaltetasters durch einen Schlüsselschalter. Dadurch wird verhindert, dass unautorisierte Personen die Ladefläche freischalten können.

Bei den EMV-Messungen im Testcenter in Regensdorf wurden am Fahrzeug Störquellen gefunden, die zu stark abgestrahlt haben. Folgemessungen bei WiTricity haben gezeigt, dass eine der Ursachen eine 16MHz Clock im von ABT entwickelten Integrationskit war. Diese wurde durch eine verbesserte Abschirmung gedämpft.



Abbildung 22: Folgemessungen der abgestrahlten Emissionen bei WiTricity



Zusätzlich wurde das WiTricity-System mit einem Firmware-Update versehen, das die Synchronisation zwischen Fahrzeug und Ladesystem optimiert und die Systemstabilität erhöht. Ein noch sporadisch am Auto auftretender Fehler (intern als "Schützkleber" bezeichnet) tritt selten beim Starten oder während des kabellosen Ladevorgangs auf. Dabei detektiert das Auto einen unzulässigen Zustand im Hochvolt-Kreis, verhindert die Weiterfahrt und meldet dabei die in Abbildung 23 angezeigte Fehlermeldung. Das Auto kann mit einem Wartungsgerät über den OBD-Anschluss ohne weitere Massnahmen entsperrt werden.



Abbildung 23: Autodisplay mit Fehlermeldung

4.2 Die Zulassung am Beispiel des ersten Prototyps

4.2.1 Vorabklärungen mit involvierten Parteien

Absatz 3.1 erläutert das Genehmigungsverfahren für Prototypen von induktiven Ladesystemen. Dieses Verfahren ist einerseits zwar rechtlich eindeutig festgelegt. Andererseits gibt es aber einige Unklarheiten, da eine Definition der EMV-Prüfung für solche Systeme innerhalb der UN-Regelung Nr. 10 fehlt. Dies führt zu mehreren Fragen. Aus diesem Grund haben wir innerhalb dieses Projektes von Anfang an den Kontakt zu allen involvierten Parteien gesucht und Gespräche mit dem ASTRA, den Strassenverkehrsämtern der Kantone Zürich und Aargau sowie mit zwei Anerkannten Prüfstellen für EMV-Prüfungen und dem BAKOM geführt. Diese Vorabklärungen haben folgendes ergeben:

ASTRA

Das ASTRA vertritt die Auffassung, dass die Zuständigkeit für die Zulassung bei den Kantonen liegt, namentlich bei den Strassenverkehrsämtern. Im Kontext von Pilot- und Demonstrationsprojekten wäre es zwar denkbar, Ausnahmen zu gewähren und auf der Verordnungsebene umzusetzen. Dies müsste jedoch auf Departements-Stufe erfolgen und erfordert ebenfalls den Nachweis der Konformität mit den grundlegenden Anforderungen und schweizerischen Bestimmungen, um die Ausnahmen präzise zu definieren. Das Projektteam und das ASTRA sind übereingekommen, dass eine reguläre Zulassung das Ziel sein soll und nur falls sich dieser Ansatz als nicht durchführbar herausstellen sollte, ein Antrag auf eine Ausnahmegenehmigung in Betracht gezogen wird.

Strassenverkehrsämter Zürich & Aargau

Die beteiligten Strassenverkehrsämter sind der Meinung, dass eine Begutachtung der Fahrzeuge direkt bei den Ämtern erfolgen kann, vorausgesetzt, die NEV- und VEMV-Nachweise liegen vor. Dies impliziert, dass die Kriterien bezüglich Bodenfreiheit, Fussgängerschutz und mechanischer Befestigung im Zuge einer technischen Inspektion durch das STVA überprüft werden können, ohne dass es einer Bestätigung durch eine anerkannte Prüfstelle bedarf.



Anerkannte Prüfstellen (EMV / NEV)

Gemäss der «Verordnung über die Typengenehmigung von Strassenfahrzeugen» (TGV) in der Schweiz gibt es nur zwei anerkannte Prüfstellen, die über eine Absorber-Halle mit den erforderlichen Abmessungen für EMV-Messungen an Fahrzeugen verfügen. Beide Prüfstellen sind befugt, sowohl elektromagnetische Verträglichkeits- als auch elektrische Sicherheitsprüfungen durchzuführen.

Unser Projektteam hat mit beiden Prüfstellen Vorabklärungen getroffen und die Zulassung nach VEMV und NEV diskutiert. In Bezug auf die elektrische Sicherheit (NEV) waren sich alle Beteiligten einig, dass die Fahrzeuge uneingeschränkt alle Anforderungen der UN-Regelung Nr. 100 erfüllen müssen.

Bei der Prüfung der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) gab es jedoch erhebliche Unterschiede in der Interpretation der geltenden Anforderungen sowie der Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten zwischen Prüfstelle und Hersteller. Eine Prüfstelle schlug einen umfangreichen Katalog von Messungen nach verschiedenen internationalen Standards vor. Sie liess es dem Gerätehersteller offen, welche Prüfungen tatsächlich durchgeführt werden sollten, bestand jedoch darauf, dass alle nicht durchgeführten Prüfungen in einem möglichen Prüfbericht aufgeführt und als «Nicht durchgeführt» gekennzeichnet werden.

Dies hätte wahrscheinlich zur Folge gehabt, dass der Hersteller des Ladesystems für alle diese Genehmigungsgegenstände anhand einer Risikoanalyse nachweisen müsste, warum auf diese Prüfung verzichtet werden konnte oder aufgrund welcher Kriterien der betreffende Test für das genannte System nicht relevant wäre.

Die zweite Prüfstelle schlug nach Rücksprache mit den zuständigen Bundesämtern ASTRA und BAKOM ein pragmatisches Paket von Prüfungen nach UN-R10, IEC 61980 und ISO 19363 vor, das anschliessend umgesetzt wurde. Dieser Ansatz entbindet den Hersteller zwar nicht von seiner Pflicht, eine gründliche Risikoanalyse durchzuführen, und entspricht daher grundsätzlich dem Vorgehen der ersten Prüfstelle. In der praktischen Umsetzung erschien es jedoch sinnvoller und übersichtlicher, einen Prüfbericht auszustellen, in dem nur die tatsächlich durchgeführten Prüfungen aufgeführt sind.

4.2.2 EMV-Messungen am Fahrzeug #1

Wie bereits erwähnt, stellt die EMV-Prüfung eines vollständigen Einzelfahrzeugs mit induktivem Ladesystem eine Herausforderung dar. Einerseits wird eine Prüfung nach UN-R10 gefordert, die jedoch das induktive Laden nicht berücksichtigt. Andererseits ist die für das kabellose Laden relevante Norm IEC 61980 nur teilweise auf vollständige Fahrzeuge anwendbar.

Aufgrund dieser Komplexität haben wir in Zusammenarbeit mit der Prüfstelle ein Testprogramm zusammengestellt, das sicherstellt, dass einerseits die einschlägigen Standards erfüllt und andererseits in der praktischen Umsetzung als zumutbar erschien.



Es wurden folgende sechs Prüfungen absolviert:

Tabelle 3: Definierte Prüfungen im Rahmen des erstellten Testprogramms

Test-Nr.	Standard	Testbeschreibung
1	UN R10	Breitbandige elektromagnetische Störstrahlungen von Fahrzeugen im Bereich 30 MHz bis 1 GHz
2	IEC 61980-1	Magnetische Feldstärke im Bereich 9 kHz bis 150 kHz
3	IEC 61980-1	Gestahlte Störungen im Bereich 150 kHz bis 30 MHz
4	IEC 61980-1	Gestahlte Störungen im Bereich 30 MHz bis 1 GHz
5	IEC 62233	Elektromagnetische Emissionen im Hinblick auf Personensicherheit
6	UN R10	Immunität von Fahrzeugen gegen elektromagnetische Strahlung

Die Tests 1-4 sind Prüfungen der Emission, also der Abstrahlung elektromagnetischer Signale vom Prüfling. Diese Tests dienen in dem Nachweis, dass das Fahrzeug respektive der Lader auch während dem Ladevorgang keine Signale aussenden, welche Funkübertragung oder andere elektrischen Geräte stören könnten. Bis auf eine Ausnahme (Test 1) wurden bei allen Messungen sämtliche Grenzwerte eingehalten, wenn man die Grenzwerte für Geräte der Klasse A (siehe Absatz 3.1.4.2) zugrunde legt.

Test 5 ist für die Zulassung des Fahrzeuges fakultativ. Da er jedoch der Sicherheit von vulnerablen Personen (beispielsweise mit Herzschrittmacher oder Schwangere) dient, hat man sich in Absprache mit der Prüfstelle entschieden, diese ebenfalls durchzuführen. Die Prüfung wurde erfolgreich bestanden. Schon unterhalb des Fahrzeuges, 10 cm neben der kabellosen Energieübertragung, waren sämtliche Anforderungen bezüglich des Personenschutzes erfüllt.

Test 6 ist eine Prüfung der Immunität respektive der Fähigkeit des Prüflings, in einer elektromagnetisch belasteten Umgebung ordnungsgemäss zu funktionieren. Bei diesem Test wird das Fahrzeug von aussen aktiv mit elektromagnetischen Störfeldern bestrahlt. Dabei dürfen weder beim Fahren noch beim Laden (sicherheitsrelevante) Fehlfunktionen auftreten. In beiden Fällen haben sämtliche Systeme einwandfrei funktioniert: das umgebaute Fahrzeug kann somit als sicher betrachtet werden.



Abbildung 24: Fahrzeug Nr. 1 im EMV Labor mit Feldgenerator zur Bestrahlung des Fahrzeuges zur Prüfung der Immunität

Test 1 und 4 decken den gleichen Frequenzbereich ab. Test 1 umfasst vier unterschiedliche Setups (je 2 Antennenausrichtungen bei 2 Fahrzeugausrichtungen). Bei Test 4 hingegen wird in einer Prüfung das Fahrzeug 2x um volle 360° gedreht und dabei je eine Umdrehung pro Antennenposition aufgenommen. Als Resultat fließen die jeweils höchsten gemessenen Werte je Frequenzspektrum ein.

Zudem sind die Grenzwerte der beiden Tests (Abbildung 25) leicht unterschiedlich: Test 1 hat ein Limit von 32 dB im Bereich von 30-75 MHz, welcher im Bereich von 75-400 MHz kontinuierlich auf 43 dB ansteigt und dann bis 1 GHz bei diesem Wert verbleibt. Test 4 hingegen hat einen Grenzwert von 40 dB bis 230 MHz, welcher dann sprunghaft auf 47 dB ansteigt, für Geräte der Klasse A. Für Geräte der Klasse B sind die Grenzwerte 30 dB respektive 37 dB bei gleichem Kurvenverlauf.

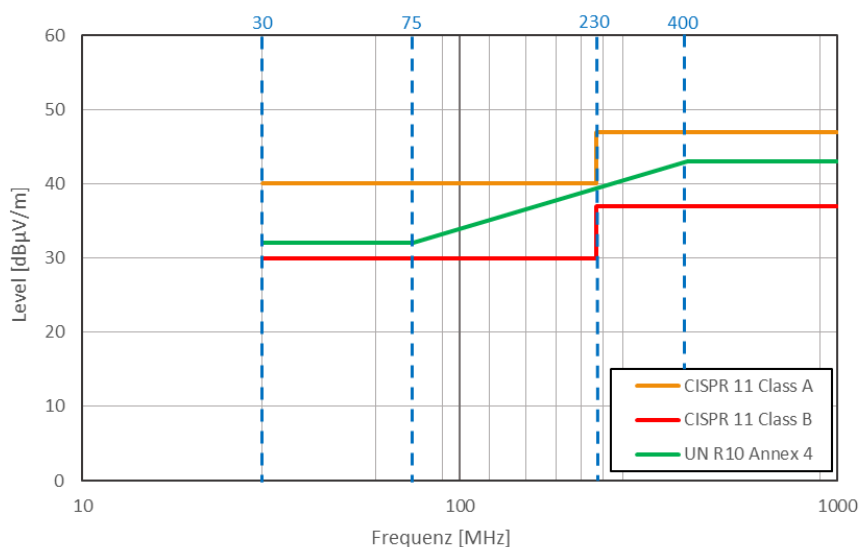


Abbildung 25: Grenzwerte gestrahlter Störaussendungen im Bereich von 30 MHz bis 1 GHz



Bei Test 1 (der Messung von breitbandigen elektromagnetischen Störstrahlungen im Bereich 30 MHz bis 1 GHz nach UN-Regelung R10) zeigte sich bei einer der vier Prüfungen eine ganz leichte Überschreitung des Grenzwertes von 0.21 dBµV/m. Abbildung 26 zeigt die problematische Messung nach UN-R10. Die orange Kurve zeigt die Spitzenwerte. Für die Einhaltung der Grenzwerte relevanten Quasi-Peaks sind in Grün dargestellt, der Grenzwert nach UN-R10 in Rot. Die Grenzwertverletzung bei 64 MHz ist kaum zu erkennen (pinker Pfeil).

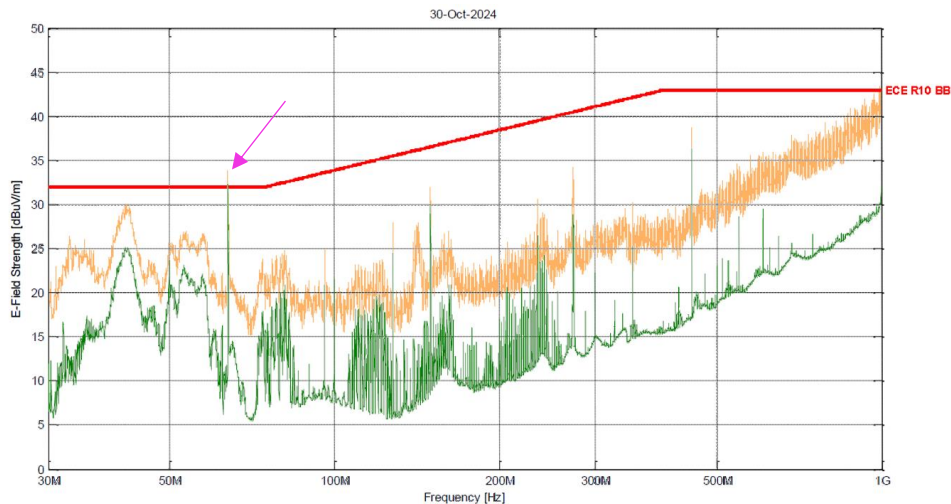


Abbildung 26: Messung nach UN-R10 (Test 1, rechte Fahrzeugseite & vertikale Antennenausrichtung)

Die Überschreitung des Grenzwertes von 0.2 dB wurde lediglich bei einer der vier Prüfungen nach R10 festgestellt. Es ist wichtig, sich daran zu erinnern, dass die Prüfung nach R10 nicht für das Laden mit induktivem Lader vorgesehen ist. Dennoch wird sie aufgrund der rechtlichen Situation in der Schweiz sowie deren Interpretation durch Prüfstellen und Zulassungsbehörden zur Zulassung von Einzelfahrzeugen verlangt.

Ausserdem kann festgehalten werden, dass die Messunsicherheit bei dieser Messung gemäss Prüf-
stelle 4.57 dB beträgt. Eine Überschreitung des Grenzwertes von lediglich 0.21 dB kann somit nicht als statistisch gesichert angesehen werden.

Auf dem Prüfbericht wurde die Überschreitung des Grenzwertes zwar korrekt ausgewiesen, jedoch zusätzlich (in Absprache mit dem BAKOM) durch die Prüfstelle mit einem sogenannten «Engineering Judgement» versehen. Dieses verweist auf die unbedenklichkeit der gemessenen Werte aufgrund der oben genannten Kriterien.

Sehr wohl für induktives Laden vorgesehen ist die vergleichbare Messung nach IEC 61980 (Test 4). Abbildung 27 zeigt die Ergebnisse dieser Messung. Auch hier sind die Spitzenwerte in Orange, die relevanten Quasi-Spitzen in Grün und der Grenzwert (Gerätekategorie A) in Rot dargestellt. Diese Grenzwerte wurden problemlos eingehalten, zumindest jene der Gerätekategorie A. Und dass, obwohl diese Prüfung aufgrund der Fahrzeugdrehung als anspruchsvoller zu betrachten ist.

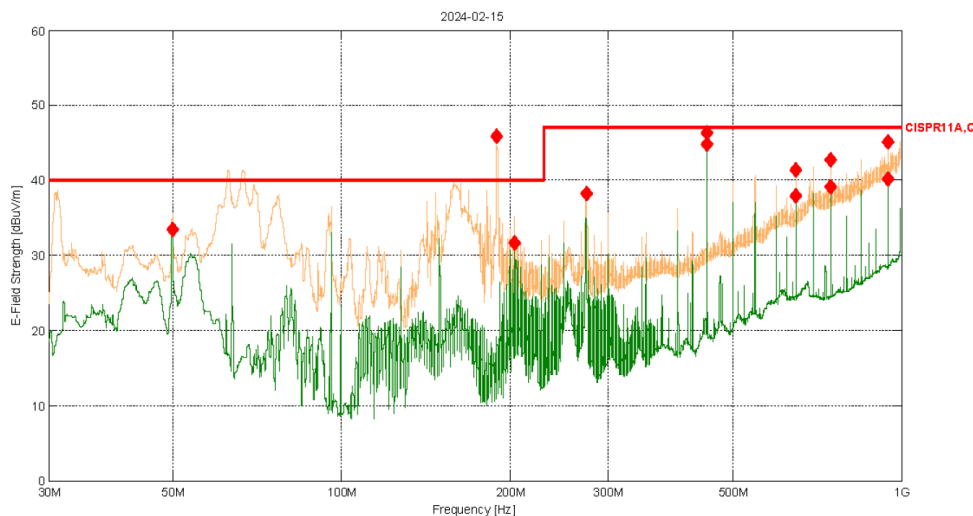


Abbildung 27 Messung nach IEC 61980 (Test 4, 360°)

Zur Erfüllung des Standards IEC 61980 mit der Geräteklasse B - was für eine Überführung in die Serie sicher angestrebt werden sollte - sind noch einige technische Nachbesserungen am Produktdesign notwendig. Die meisten dieser Punkte sind jedoch ausserhalb der kabellosen Energieübertragung zu suchen (beispielsweise konnte die Überhöhung bei 64 MHz dem verbauten Fahrerinformationsdisplay zugeordnet werden). Für die Zulassung der Prototypen mit Geräteklasse A können die Messungen der elektromagnetischen Verträglichkeit jedoch als konform bewertet werden. Die Störstrahlungen bewegen sich auf ähnlichem Niveau wie jene von kabelgebundenen Ladesystemen oder anderen elektrischen Gerätschaften.

4.2.3 NEV-Prüfung am Fahrzeug #1

Die Prüfung der elektrischen Sicherheit verlangt nach elektrotechnischen Messungen am Hochvoltssystem des Fahrzeuges sowie am Hochspannungsteil der fahrzeugseitigen Empfängerspule. Diese Systeme sind sehr schwer zugänglich. Einerseits müssen die spannungsführenden Teile vor Berührung und Manipulation gut geschützt sein, andererseits erlaubt es auch die kompakte Einbausituation im Fahrzeug nicht, diese Teile zu öffnen. Aus diesem Grund wurde der Termin zur Prüfung in zwei Teile aufgeteilt. Zuerst wurden bei WiTricity in Mägenwil an einem baugleichen Modell des Ladesystems, aufgebaut auf einem Teststand im Labor, die Messungen am offenen Empfängermodul durchgeführt. Anschliessend wurde das Fahrzeug zur Empa nach Dübendorf transportiert, um dort die Messungen am offenen Hochvoltkreis des Fahrzeuges durchzuführen.

4.2.3.1 Prüfung bei WiTricity in Mägenwil

Auf dem Teststand von WiTricity ist das Empfängermodul entgegen dem Fahrzeug von oben zugänglich. So war es möglich, am offenen System Messungen durchzuführen, während dem es in Betrieb ist. So konnte die Hochspannung am Resonator unter Volllast gemessen werden. Diese ist wichtig da sie - als höchste Systemspannung - weitere Anforderungen an die Isolation und Sicherheit des Systems definiert.

Zudem wurde die Isolation der Hochspannungskomponenten gegenüber dem Chassis geprüft. Der Berührungsschutz und die allgemeine Anmutung der Verkabelung war ebenfalls Teil der Inspektion.

4.2.3.2 Prüfung bei der Empa in Dübendorf

Für die Prüfung bei der Empa wurde das Fahrzeug so vorbereitet, dass ein einfacher Zugang zum Hochvoltsystem möglich war. Hierzu wurde ein Adapterkabel gefertigt, dass in eine fahrzeugseitige Hochvoltverbindung gesteckt werden konnte. Dadurch war es möglich, unter Einhaltung der



Sicherheitsvorschriften (Berührungsschutz) am aktiven Hochvoltssystem die Spannung zu messen. Bei fahrzeugseitig deaktiviertem System konnte derselbe Adapter genutzt werden, um die den Isolationswiderstand des Hochvoltkreises gegenüber dem Chassis zu messen. Beide Werte entsprachen den Vorschriften.



Abbildung 28: Prüfung des Isolationswiderstandes an der Empa

4.2.3.3 Zulassung beim Strassenverkehrsamt Aargau

Mit den beiden Prüfberichten zu EMV und NEV konnte das Fahrzeug beim Strassenverkehrsamt Aargau zur Prüfung der technischen Änderung bei der Prüfstelle Frick angemeldet werden. Die Fahrzeugexperten des Strassenverkehrsamtes prüften vor Ort anhand einer Sichtprüfung die folgenden Punkte:

- mechanische Befestigung der Bauteile
- allfällige Verletzungsgefahren durch scharfkantige oder hervorstehende Bauteile
- Unversehrtheit des vorderen Unterfahrschutzes
- Bodenfreiheit
- Unversehrtheit des Fussgängerschutzes (Freiraum unter der Motorhaube)
- Allgemeine Qualitätsanmutung der Installation und der Verkabelung

Ebenfalls wurden die Seriennummern der Bauteile notiert um diese anschliessend im Fahrzeugausweis zu dokumentieren.

Die Prüfung konnte ohne Beanstandungen absolviert werden. Auch der EMV-Prüfbericht mit dem enthaltenen Engineering Judgement wurde akzeptiert, die Prüfung gilt somit als bestanden und die technische Änderung wurde in den Fahrzeugausweis eingetragen. Das Fahrzeug ist somit mitsamt dem induktiven Ladesystem für die Teilnahme im öffentlichen Strassenverkehr zugelassen.

Aufgrund des nicht vollständig erfüllten EMV-Nachweises hat man sich mit dem Strassenverkehrsamt jedoch darauf geeinigt, die Zulassung vorerst auf zwei Jahre zu beschränken. Sobald ein vollständig gültiges Testergebnis vorliegt, kann dies jederzeit administrativ (also ohne technische Abnahme) in eine unbefristete Zulassung umgewandelt werden.



4.3 Zulassung des zweiten Prototyps

Für die Zulassung des zweiten Prototyps – das Fahrzeug der Witricity GmbH - konnte auf den EMV-Prüfbericht des ersten Prototyps verwiesen werden. Grundsätzlich verlangt die technische Änderung zwar für jedes Fahrzeug nach einer Prüfung respektive nach einem Prüfbericht. Es liegt jedoch im Ermessensspielraum der Prüfstelle, ob sie für weitere baugleiche Fahrzeuge weitere Messungen verlangt, oder ob sie auf bereits absolvierte Prüfungen verweist und den Prüfbericht auf administrativem Wege ausstellt. Da wir der Prüfstelle glaubhaft machen konnten, dass es sich um identische Fahrzeuge (gleiche EU-Gesamtgenehmigungsnummer) mit dem gleichen Umbau handelt, konnte für das zweite Fahrzeug der EMV-Prüfbericht ohne erneute Labormessungen erstellt werden. Somit musste lediglich die Prüfung der elektrischen Sicherheit (Prüfung des Isolationswiderstandes) gemacht werden.

Wiederum erfolgte die technische Abnahme und die beanstandungslose Eintragung in den Fahrzeugausweis beim Strassenverkehrsamt Aargau. Und wiederum wurde die Zulassung vorerst auf zwei Jahre befristet ausgestellt.

4.4 Die Installation der ersten Ladestation in Buchs

4.4.1 Einführung und Risikoanalyse

Die Installation der ersten induktiven Ladestation in Buchs erfolgte in mehreren Schritten, wobei alle sicherheitsrelevanten und technischen Anforderungen bestmöglich berücksichtigt wurden.

Auf Grundlage der Erkenntnisse und der in 3.1.1 beschriebenen Anforderungen wurde eine Risikoanalyse hinsichtlich des geeigneten Standorts durchgeführt. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass das Risiko als gering eingestuft werden kann. Es wurden sämtliche sicherheitsrelevanten Vorgaben gemäss der Verordnung über elektrische Niederspannungserzeugnisse (NEV), der Starkstromverordnung (StV) sowie der Verordnung über elektrische Niederspannungsinstallationen (NIV) berücksichtigt. Die Schulung des Personals wird dafür sorgen, dass der Betrieb der Anlage weitgehend den gesetzlichen Anforderungen entspricht.

Da die Ladestation zum Zeitpunkt der Installation noch nicht über eine Konformitätserklärung des Herstellers verfügte, wurde eine ausführliche Risikoanalyse des Betreibers (Eniwa AG) durchgeführt, auf dessen Grundlage die Installation erfolgen konnte. Die durchgeführte Risikoanalyse ist im Anhang beigefügt.

4.4.2 Tiefbau- und Erschliessungsarbeiten

In einem zweiten Schritt wurde der ausgewählte Standort auf dem Aussenparkplatz vorbereitet. Die erforderlichen Erdarbeiten umfassten das Ausheben eines Grabens für die Verlegung der Versorgungsleitungen sowie die Installation eines Leerrohrsystems (M63). Dieses dient dazu, die Versorgungs- und Datenleitungen normgerecht und geschützt zur Ladestation zu führen. Parallel dazu wurden vier Gartenplatten (1m * 1m) in den Boden eingelassen, um eine möglichst ebene Installationsfläche für das Groundpad zu schaffen. Für die stabile Befestigung der Ladestation wurde ein Betonfundament gegossen, das als Montagesockel für die Station dient. Um die Ladestation zusätzlich mechanisch vor Schäden durch Fahrzeuge zu schützen, wurde das bestehende Aufprallschutzsystem wiederverwendet.



Abbildung 29: Installation des Leerrohrs beim ersten Ladestationsstandort

4.4.3 Installation Ladestation und Monitoringsysteme

Die Ladestation selbst wurde freistehend montiert. Für den sicheren Betrieb wurden eine Kombination aus einem Leitungsschutzschalter und Fehlerstromschutzschalter verwendet (FILSC20 / 30mA). Darüber hinaus erfolgten eine ordnungsgemässe Erdung und Isolierungsprüfung der Anlage, um die elektrische Sicherheit zu gewährleisten.

Ein weiterer wesentlicher Bestandteil der Installation war die Inbetriebnahme einer zusätzlichen Box, die alle wichtigen Monitoring- und Abrechnungssysteme enthält. Diese Box wurde in der Mitarbeitergarage der Eniwa AG angebracht und beherbergt einen Einplatinencomputer, der alle Ladevorgänge erfasst und in Echtzeit ausgelesen werden kann. Der Datenlogger ist mit der Ladestation und einer am Sockel verbauten Kamera verbunden, um bei Auslösung einer der Schutzmechanismen wie der LOD nachvollziehen zu können, was genau der Auslöser war. Zudem ist ein Stromzähler in der Box integriert, der den genauen Energieverbrauch der Ladestation misst. Dieser Zähler ist für die zukünftige Abrechnung der Ladevorgänge essenziell, da er die Grundlage für die verbrauchs-basierte Kostenabrechnung der geladenen Energie bildet.



Abbildung 30: Box mit Monitoring- und Abrechnungssystem



Für die Kontrolle und später eventuell auch um die Anzahl der Parkvorgänge für die Studie der User-Experience zu messen, wurde eine weitere Kamera installiert, die eine Überwachung des Standorts ermöglicht. Diese Kamera ist solarbetrieben und verfügt über eine SIM-Karte für die unabhängige Übertragung der Videodaten.

Zusätzlich wurden alle elektrischen Verbindungen nach den geltenden Vorschriften installiert und auf Funktionalität geprüft. Dies umfasste die Verbindungen zwischen der Ladestation, der Überwachungskamera an der Ladesäule und der Box mit dem Datenlogger. Alle Systeme wurden in Betrieb genommen und einer umfassenden Testreihe unterzogen, um die korrekte Funktion der gesamten Infrastruktur sicherzustellen.

Abschliessend wurde die Ladestation für den Pilotbetrieb freigegeben. Die erste Testladung verlief erfolgreich und alle Systeme, einschliesslich des Datenlogger, funktionierten wie geplant. Zur Sicherstellung eines reibungslosen Betriebs wurden regelmässige Kontrollintervalle für die Überprüfung der elektrischen Komponenten festgelegt. Die laufende Überwachung und der Fernzugriff ermöglichen zudem eine schnelle Reaktion auf potenzielle Störungen.



Abbildung 31: Fertiggestellte induktive Ladestation bei Eniwa in Buchs

4.5 Einfluss auf die Neuwagengarantie resp. Gewährleistung

Die Begriffe «Gewährleistung» und «Garantie» werden in der Schweiz im allgemeinen Sprachgebrauch oft gleichbedeutend verwendet. Es besteht jedoch ein rechtlicher Unterschied: Im Obligationenrecht (OR) wird bei Kaufverträgen von «Gewährleistung» gesprochen. Dies bedeutet, dass der Verkäufer für zwei Jahre die einwandfreie Qualität und Funktion des Produkts sicherstellen muss. Im Gegensatz dazu bezieht sich «Garantie» auf eine vertraglich zugesicherte Leistung und nicht auf die gesetzlich geregelte Gewährleistung. Im Rahmen einer vertraglichen Garantie kann ein Verkäufer die gesetzlichen Ansprüche erweitern oder einschränken. Beispielsweise kann er besondere Eigenschaften eines Produkts garantieren oder bei einem Defekt nur Reparaturen statt eines Austauschs anbieten. Zudem besteht die Möglichkeit, die gesetzliche Gewährleistung auszuschliessen.



Und letzteres dürfte auf die meisten in der Schweiz verkauften Neuwagen zutreffen, weshalb der Gewährleistungsfall für diesen Bericht nicht weiter von Bedeutung ist.

Der exakte Wortlaut der Garantiebestimmungen und damit Umfang der Garantieleistungen variieren zwischen den einzelnen Fahrzeugherstellern zum Teil erheblich. Die grundlegenden Kriterien für Garantieausschlüsse sind jedoch vermutlich weitgehend einheitlich geregelt. Am Beispiel der im Rahmen dieses Projektes umgerüsteten Fahrzeuge 1 und 2 (beides VW ID.5) ist den «Allgemeinen Geschäftsbedingungen Garantie» der «Amag Import AG» folgendes geregelt:

Ausschluss der Garantie

«Fremdaufbauten, Fremdeinbauten und Fremdausbauten sowie Mängel am Fahrzeug, die durch diese verursacht wurden, sind von dieser Garantie nicht umfasst. Das gleiche gilt für Zubehör, das nicht werkseitig eingebaut und/ oder geliefert wurde.»

Und weiter:

«Ansprüche gegenüber dem Garantiegeber aus dieser Garantie sind schliesslich ausgeschlossen, wenn der Mangel dadurch entstanden ist, dass:

in das Fahrzeug Teile an- oder eingebaut worden sind, deren Verwendung der Garantiegeber nicht genehmigt hat oder das Fahrzeug in einer vom Garantiegeber nicht genehmigten Weise verändert worden ist (z. B. Tuning)»

Der Einbau des kabellosen Ladesystems stellt zweifelsfrei einen Fremdeinbau dar, der nicht vom Garantiegeber genehmigt wurde. Darüber hinaus hat das kabellose Ladesystem neben der mechanischen Installation Schnittstellen zur Fahrzeugelektronik (CAN-Bus-System), zur Fahrzeugkühlung und zum Hochvoltssystem. Sollte es in einem dieser Systeme zu einer Fehlfunktion kommen, liegt es in erster Linie am Reparaturbetrieb zu entscheiden, ob ein kausaler Zusammenhang zwischen dem aufgetretenen Fehler und der Modifikation besteht. Sollte ein solcher Zusammenhang behauptet werden, ob begründet oder nicht, obliegt es dem Kunden oder dem Umrüster, das Gegenteil nachzuweisen. Wie bei allen Umbauten besteht somit ein nicht unerhebliches Risiko, auf den Reparaturkosten sitzen zu bleiben oder zumindest das Verfahren zur Erlangung des Garantieanspruchs unnötig kompliziert und aufwändig zu gestalten.

Noch etwas kritischer verhält es sich mit der ergänzenden Garantie der Hochvoltbatterie. Diesem Kapitel der Garantierichtlinien der Amag Import AG ist nämlich zu entnehmen, dass:

«Eine Garantieleistung für Hochvoltbatterien ist ausgeschlossen, wenn die Fehlfunktion oder der übermässige Verlust des Netto-Batterieenergieinhaltes dadurch entstanden ist, dass die Vorschriften über den Betrieb, die Behandlung und Pflege des Fahrzeugs (insbesondere die Pflegehinweise für das Laden und den Ladezustand der Hochvoltbatterie), die sich aus der dem Fahrzeug beigelegten Betriebsanleitung ergeben, nicht befolgt worden sind»

Da kabelloses Laden nicht Teil der Ladestrategie des Fahrzeugherstellers ist und somit auch nicht den Ladeempfehlungen der Betriebsanleitung entspricht, könnte daraus nahezu zwangsläufig ein kausaler Zusammenhang konstruiert werden. Besonders, da der Austausch einer Hochvoltbatterie mit relativ hohen Kosten verbunden ist. Auch wenn das kabellose Laden aus technischer Sicht dem konventionellen AC-Laden mit 11 kW entspricht, birgt ein Defekt am Hochvoltsystem ein nicht unerhebliches Risiko für juristische Streitigkeiten hinsichtlich der Verantwortlichkeit für eine allfällige Kostenübernahme.

Die Autoren erachten es aus diesen Gründen für wichtig, dass vor Markteinführung von Nachrüstsystemen mit den betreffenden Fahrzeugherstellern respektive Importeuren entsprechende Verträge ausgearbeitet werden, um die Kostenübernahme und die jeweiligen Garantieleistungen vorab zu klären.



4.6 User Experience

Das Arbeitspaket User Experience hat im September 2024 begonnen, daher liegen noch keine konkreten Ergebnisse vor. Im Folgenden werden jedoch die wichtigsten Ergebnisse der laufenden Literaturanalyse und der Diskussionen über das Forschungsdesign und den Zeitplan vorgestellt.

4.6.1 Literaturanalyse

Mit Hilfe einer systematischen Literaturanalyse in den wissenschaftlichen Datenbanken Google Scholar und Web of Science wurden die wichtigsten wissenschaftlichen Arbeiten identifiziert, die sich mit dem Thema Nutzererfahrung beim induktiven Laden beschäftigen. Die identifizierten Arbeiten wurden anschliessend nach folgenden Informationen durchsucht:

- Verwendete Modelle/Theorien
- Methodik
- Kernergebnisse
- Untersuchungsdetails (z.B. verwendete Items/Konstrukte)

Die Informationen wurden in einer Excel-Tabelle festgehalten und werden im nächsten Schritt auf ihre Eignung zur genaueren Definition des Forschungsdesigns/Umfragen geprüft.

4.6.2 Forschungsdesign

Die Akzeptanz von neuen Technologien wird häufig anhand dem Technology Acceptance Model (TAM) oder der Theorie des geplanten Verhaltens (TPB) untersucht. Dabei werden spezifische Faktoren untersucht, die die Einstellung und Bereitschaft der Nutzer zur Technologieakzeptanz beeinflussen. Beide Modelle gehören zu den etablierten theoretischen Rahmenwerken der Sozial- und Verhaltenswissenschaften und werden häufig in der Forschung zu technologischem Wandel und Innovation eingesetzt.

Beim TAM, das von Davis (1989) entwickelt wurde, ist der Kerngedanke, dass die Akzeptanz einer neuen Technologie vor allem durch zwei Hauptfaktoren bestimmt wird:

Perceived Usefulness (wahrgenommener Nutzen):

Der wahrgenommene Nutzen bezieht sich darauf, inwieweit eine Person glaubt, dass die Nutzung der neuen Technologie die Effizienz oder Erreichung von persönlichen Zielen verbessert oder erleichtert. Je nützlicher die Technologie wahrgenommen wird, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass sie akzeptiert wird.

Perceived Ease of Use (wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit):

Die wahrgenommene Benutzerfreundlichkeit beschreibt, wie einfach oder mühelos die Technologie zu nutzen ist. Wenn die Technologie als benutzerfreundlich wahrgenommen wird, steigt die Bereitschaft zur Nutzung.

Die Theorie des geplanten Verhaltens (TPB) wurde von Ajzen (1991) entwickelt und zielt darauf ab, das Verhalten von Personen basierend auf drei Faktoren vorherzusagen:

Attitude toward the Behavior (Einstellung gegenüber dem Verhalten):

Die Einstellung gegenüber der Nutzung der Technologie basiert darauf, ob die Person die Technologie als positiv oder negativ für sich wahrnimmt.

Subjective Norm (subjektive Norm):

Die subjektive Norm bezieht sich auf den sozialen Druck oder die sozialen Erwartungen im Umfeld der Person. Wenn das Umfeld die Technologie unterstützt und zur Nutzung ermutigt, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass die Person die Technologie akzeptiert.



Perceived Behavioral Control (wahrgenommene Verhaltenskontrolle):

Dies beschreibt das Ausmass, in dem die Person das Gefühl hat, die Technologie effektiv nutzen zu können, was unter anderem durch Zugang, Wissen und Fähigkeiten beeinflusst wird.

In Kombination liefern TAM und TPB einen umfassenden Einblick in die psychologischen, sozialen und technischen Faktoren, die zur Akzeptanz oder Ablehnung neuer Technologien führen. Da induktives Laden in der Schweiz noch sehr wenig verbreitet und bekannt ist, eignet sich eine Kombination aus TAM und TPB gut für die Beantwortung der Forschungsfragen.

Neben der Erfassung des wahrgenommenen Nutzens, der wahrgenommenen Benutzerfreundlichkeit, der Einstellung zum induktiven Laden, der subjektiven Normen und der wahrgenommenen Verhaltenskontrolle wurden folgende Fragen als wichtig erachtet:

- Zweck und Häufigkeit der Nutzung von E-Carsharing
- Absicht, induktives Laden zu nutzen
- Absicht E-Carsharing zu nutzen
- Absicht, ein Elektroauto zu kaufen
- Werthaltungen (z.B. hedonistische oder altruistische Werthaltung)
- Soziodemografische Merkmale (Geschlecht, Bildung, Haushaltsgrösse, Haushaltseinkommen)
- Fahrzeug- und ÖV-Abo-Besitz

Diese Fragen werden sowohl in der Baseline-Befragung als auch in der Endline-Befragung (nach dem Test der induktiven Ladestation) gestellt. Dies ermöglicht Vorher-Nachher-Analysen und die Abschätzung des Effekts der Erfahrung mit der induktiven Ladestation auf die Intention (Intention induktive Ladestation zu nutzen, E-Carsharing zu nutzen, ein Elektroauto zu kaufen). Die Ergebnisse der systematischen Literaturanalyse helfen bei der Definition und Anpassung der Fragebögen.

4.6.3 Zeitplan

Vor dem Versand der Baseline-Befragung an die Swiss E-Carsharing-Nutzenden wird der Fragebogen einem ausführlichen Pretest unterzogen (t_0). Die Baseline-Befragung wird dann zum Zeitpunkt t_1 an alle Swiss E-Carsharing Nutzenden verschickt. Die Rekrutierung der Testpersonen ist abhängig vom Standort der Ladestation und vom Nutzerprofil (z.B. wie oft ein E-Carsharing Auto pro Monat ausgeliehen wird). Bevor die induktive Ladestation getestet werden kann, erhält jede Testperson ein Schulungsvideo oder eine Schulung vor Ort, danach wird die Person für den Test freigeschaltet. Um eine möglichst grosse Varianz an Nutzer:innen zu erhalten, wird die Nutzung der induktiven Ladestation auf maximal fünf Nutzungen begrenzt. Nach diesen maximal fünf Nutzungen erhält die Testperson den Link zur Endhebung (t_2).

Abbildung 32 zeigt den zeitlichen Ablauf der User-Experience Studie.

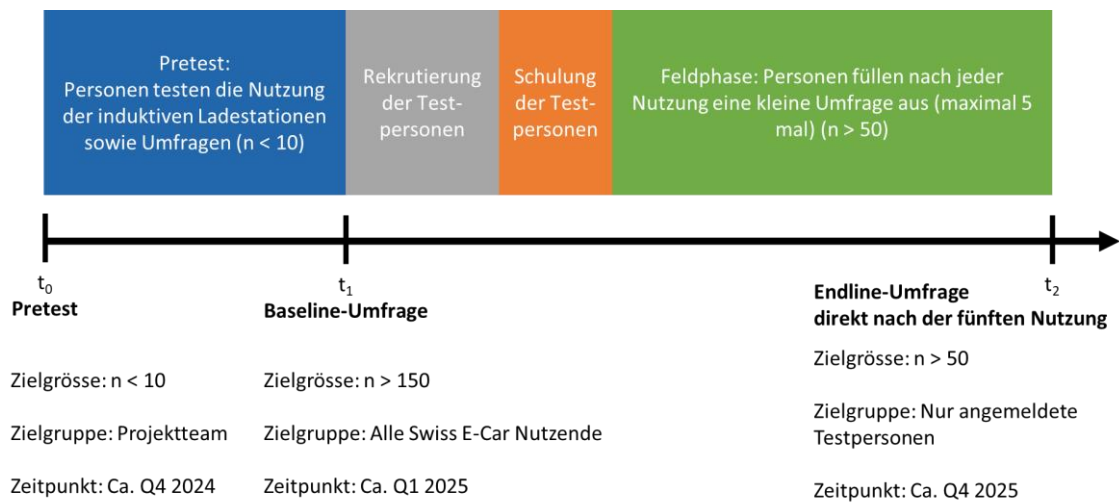


Abbildung 32: Zeitlicher Ablauf der User-Experience Studie

5 Bewertung der bisherigen Ergebnisse

Das Projekt hat wertvolle erste Erkenntnisse und Erfolge geliefert, insbesondere in der technischen Umsetzung und Installation der induktiven Ladestation. Ein wesentlicher Fortschritt konnte im Bereich der Zulassung erzielt werden. So ist es gelungen, das zweite Fahrzeug in einem vereinfachten Verfahren zuzulassen. Da dieses Fahrzeug baugleich mit dem ersten Prototyp ist und in identischer Weise umgebaut wurde, konnten die umfangreiche Laborprüfung vermieden und die Zulassung deutlich schneller und kostengünstiger durchgeführt werden. Dies stellt einen wichtigen Erfolg dar und zeigt, dass eine effiziente Zulassung baugleicher Fahrzeuge möglich ist, was zukünftige Prozesse erheblich beschleunigen könnte.

Allerdings kam es auch zu Verzögerungen durch den Ausstieg des Partners ABT e-Line GmbH, der für die Umrüstung der Fahrzeuge vorgesehen war. Dieser Partnerwechsel erfordert zusätzliche Zeit für die Auswahl und Koordination eines neuen Umrüstungspartners, wodurch die Modifikation weiterer Fahrzeuge verzögert wird. Da die Umrüstung der Fahrzeuge essenziell für den Start der geplanten User Experience-Studie ist, führt diese Verzögerung auch zu einer Verschiebung dieses Projektteils.

Um die Auswirkungen auf das Projektziel zu minimieren, wird die Studie zunächst mit dem bereits umgerüsteten Fahrzeug in Buchs starten. Sobald weitere Fahrzeuge zur Verfügung stehen, werden diese schrittweise in die Sharingplattform und Studie integriert, um die Nutzerdatenbasis zu erweitern und aussagekräftigere Ergebnisse zu gewinnen.

Trotz den getroffenen Massnahmen zur Reduzierung der Verzögerungen wird eine Verlängerung des Projekts um mindestens sechs Monate notwendig sein, um die abschliessenden Studien und Testphasen vollständig und unter realistischen Bedingungen durchführen zu können. In der verlängerten Projektphase wird der Fokus besonders auf der Integration der zusätzlichen Fahrzeuge, der umfassenden Erhebung der Nutzerdaten sowie der Bewertung der Technologie im Alltagseinsatz liegen. Die Projektleitung ist zuversichtlich, dass durch die zusätzliche Zeit alle geplanten Arbeitspakete erfolgreich abgeschlossen und die Projektziele erreicht werden können. Finanziell liegt man im Budget. Stand heute sind keine wesentlichen Veränderungen zu erwarten.

In Abbildung 33 ist der aktualisierte Meilensteinplan dargestellt. Die ursprünglichen Meilensteine sind in Grau gehalten, während die neuen Termine farblich hervorgehoben sind.

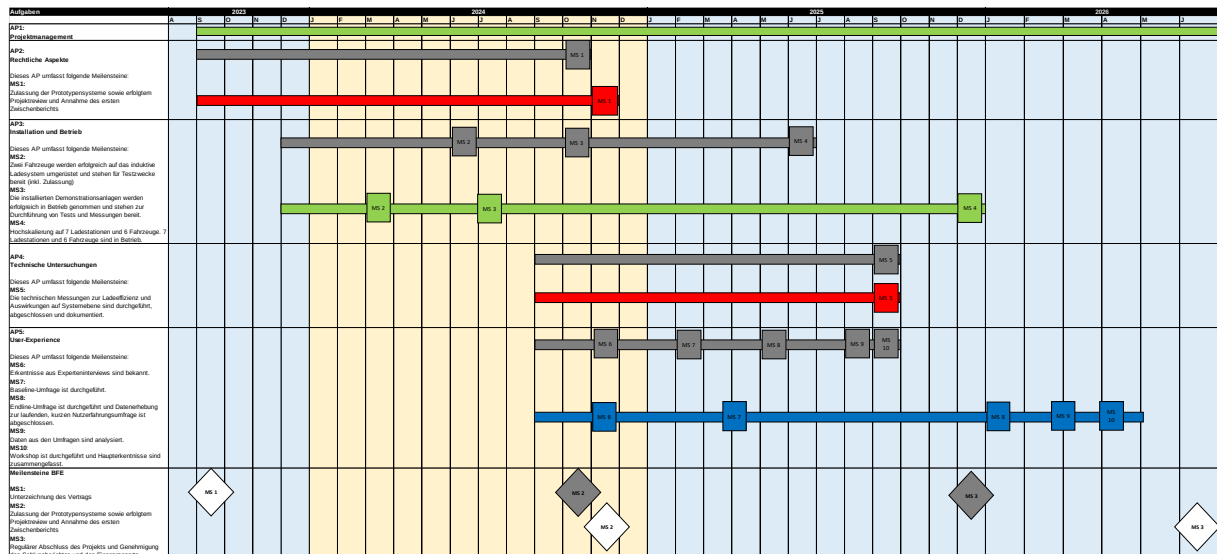


Abbildung 33: Aktualisierter Meilensteinplan

6 Weiteres Vorgehen

Seit der erfolgreichen Umrüstung des ersten Fahrzeugs konnten erste praktische Erkenntnisse zur Funktionsweise des induktiven Ladesystems gesammelt werden. Um das Projekt fortzusetzen und die nächsten Meilensteine zu erreichen, werden nun die Vorbereitungen für die User-Experience-Studie und die Integration weiterer Fahrzeuge erarbeitet. In den folgenden Unterkapiteln sind die nächsten Schritte detailliert beschrieben.

6.1 Koordination und Auswahl eines neuen Partners für die Fahrzeugumrüstung

Durch den Ausstieg des ursprünglichen Umrüstungspartners ABT e-Line GmbH ist es notwendig, einen neuen Partner zu finden, der die Umrüstung der Fahrzeuge fortführt. Die Auswahl und Einbindung des neuen Partners haben hohe Priorität. Dieser Prozess wird in enger Zusammenarbeit mit WiTricity abgestimmt.

6.2 Start der User-Experience-Studie und Sharing-Einführung

Da das erste umgerüstete Fahrzeug zur Verfügung steht, ist geplant, erste Daten zur Nutzerakzeptanz und praktischen Nutzung noch dieses Jahr zu erheben. Dieses Fahrzeug soll im Dezember dieses Jahres in das Sharing-System integriert und ausgewählten Testnutzern für den Pilotbetrieb zur Verfügung gestellt werden. In einem zweiten Schritt soll anfangs nächsten Jahres die Nutzergruppe erweitert werden sodass erste Erkenntnisse zur Alltagstauglichkeit gesammelt werden können.

6.3 Umrüstung des nächsten Fahrzeugs und Technische Untersuchungen

Sobald das nächste Fahrzeug, welches im Besitz der Empa ist, beim neuen Umrüstungspartner umgebaut ist, wird die Empa intensiv mit technischen Untersuchungen beginnen. Das erste, in Zusammenarbeit mit diesem neuen Partner umgerüstete Fahrzeug, wird umfassenden Messungen unterzogen, darunter Effizienzmessungen sowie Tests zur Belastbarkeit des induktiven Ladesystems unter realen



Einsatzbedingungen. Die Ergebnisse sind entscheidend, um die Praxistauglichkeit und Sicherheit des Systems zu validieren und gegebenenfalls Optimierungen vorzunehmen.

Da es sich um das erste Fahrzeug mit einem neuen Umrüstungspartner handelt, ist es denkbar, dass die Prüfstelle einen erneuten EMV-Test im Labor für notwendig erklären wird. Zusätzlich müssen gegebenenfalls einzelne Schritte zur Fahrzeugzulassung neu initiiert werden, um den modifizierten Umrüstprozess formell zu dokumentieren und zu genehmigen. So wird gewährleistet, dass dieses Fahrzeug wie auch kommende mit demselben Aufbau, den regulatorischen Anforderungen entsprechen und für den öffentlichen Einsatz zugelassen werden können.

Neuerungen seitens des Lieferanten werden umgehend ins Projekt einfließen und erprobt werden (z.B. Modifizierung des Positionierungsdisplays).

6.4 Erweiterung der Ladeinfrastruktur und Partnersuche

Um die induktive Ladetechnologie an weiteren Standorten zu skalieren, läuft die Suche nach Partnern über Partnernetzwerke wie Swissspower. Es wurden bereits mehrere Gespräche mit Interessenten geführt und es stehen weitere Termine mit neuen potenziellen Partnern an, die über geeignete Standorte und Interesse an der innovativen Ladeinfrastruktur verfügen. Das öffentliche Interesse an Partnerschaften ist gross, nicht zuletzt durch die starke Medienpräsenz des Projekts.

Eine rasche Umsetzung und Skalierung der Technologie hängt jedoch massgeblich von der Verfügbarkeit der Konformitätserklärung seitens WiTricity ab. Sobald diese vorliegt, entfällt die Notwendigkeit für umfangreiche standortspezifische Risikoanalysen und ermöglicht eine Installation im regulären öffentlichen Raum.

6.5 Monitoring und Optimierung des Ladesystems

Während die bereits installierte Ladestation im Pilotbetrieb getestet wird, erfolgt eine kontinuierliche Überwachung des Ladesystems, um potenzielle Optimierungen für den Serienbetrieb zu detektieren. Diese Überwachung umfasst die Ladezyklen, Effizienzwerte und Systemstabilität, um alle relevanten Daten für die finale Auswertung zu erfassen. Die Ergebnisse aus diesem Monitoring werden ebenfalls zur Feinjustierung der weiteren Ladeinfrastruktur genutzt.

6.6 Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit

Um die Akzeptanz und Bekanntheit des Projekts weiter zu fördern, werden diverse Kommunikationsmassnahmen verfolgt. Neben der Vorstellung auf Messen und Tagungen sowie durch gezielte Medienauftritte (z.B. auf der Projekt-Website und in Fachartikeln) soll das Projekt aktiv als Vorreiter in der kabellosen Ladetechnologie positioniert werden. Die Öffentlichkeit und potenzielle Nutzer sollen über die Vorteile des Systems informiert und auf die geplante breite Einführung informiert werden. Mit dem bevorstehenden Start im E-Car-Sharing wird das System der breiten Öffentlichkeit zum «Selber-Ausprobieren» zur Verfügung stehen.



7 Nationale und internationale Zusammenarbeit

Im Rahmen des Projekts wurde auf eine enge Zusammenarbeit mit internationalen und nationalen Partnern gesetzt, um die bestmöglichen Ergebnisse zu erzielen. WiTricity, mit Hauptsitz in den USA und einer Zweigniederlassung in Mägenwil, war der zentrale Partner für die Bereitstellung der induktiven Ladetechnologie. Dank der Nähe der Niederlassung in der Schweiz, konnten Probleme schnell gelöst und kleinere Änderungen am System zügig umgesetzt werden, was einen sehr guten Projektablauf gewährleistete.

Mit ABT e-Line GmbH in Deutschland konnte ein erfahrener Partner für die technische Umrüstung des VW ID.5 gewonnen werden. ABT übernahm die Integration des ersten induktiven Ladesystems ins Fahrzeug und stellte sicher, dass alle notwendigen Anpassungen an den elektrischen Systemen des Fahrzeugs reibungslos erfolgten. Bedauerlicherweise wird ABT für die Umrüstung der nächsten Fahrzeuge nicht mehr beauftragt werden können.

Auf nationaler Ebene spielte das EMC-Testcenter in Regensdorf eine entscheidende Rolle. Hier wurden die Tests zur elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) des Fahrzeugs durchgeführt, um sicherzustellen, dass das umgerüstete Fahrzeug den gesetzlichen Vorschriften entspricht.

Zusätzlich war die sehr kooperative Zusammenarbeit mit den Strassenverkehrsämtern des Kantons Zürich und Aargau von grosser Bedeutung. Die beiden Strassenverkehrsämter unterstützten das Projekt tatkräftig bei der Zulassung der umgerüsteten Fahrzeuge. Das Erreichen einer regulären Strassenzulassung ist einzigartig in der Schweiz und möglicherweise weit über die Landesgrenzen hinaus.

Die Zusammenarbeit mit diesen Partnern ermöglichte es, die innovative Technologie zu nutzen und gleichzeitig die hohen Qualitäts- und Sicherheitsanforderungen des Projekts zu gewährleisten.



8 Kommunikation

Aktuell wird das Thema induktives Laden verstärkt in den Medien diskutiert, nicht zuletzt aufgrund der Tesla-Medienkonferenz vom 10. Oktober 2024, die das Interesse der Öffentlichkeit an dieser Technologie weiter angefacht hat. Auch die breite Bevölkerung zeigt grosses Interesse, was sich unter anderem in einem Beitrag der SRF-Sendung "10 vor 10" widerspiegelt, der am 25. Oktober 2024 ausgestrahlt wurde.

Eine kurze Zusammenfassung der wichtigsten medienwirksamen Auftritte und Publikationen:

- **Diverse Medienmitteilungen** in Schweizer Zeitungen und Onlineplattformen berichten über den Start und die Idee des Projekts.
 - Sciena:
<https://www.sciena.ch/de/tech-transfer/charging-electric-cars-without-any-cables.html>
 - Luzerner / Solothurner / Zuger / Aargauer Zeitung:
<https://www.luzernerzeitung.ch/aargau/aarau/buchs-elektroauto-laden-ohne-kabel-eniwa-untersucht-innovative-technologie-ld.2553714>
<https://www.solothurnerzeitung.ch/aargau/aarau/buchs-elektroauto-laden-ohne-kabel-eniwa-untersucht-innovative-technologie-ld.2553714>
<https://www.zugerzeitung.ch/aargau/aarau/buchs-elektroauto-laden-ohne-kabel-eniwa-untersucht-innovative-technologie-ld.2553714>
<https://www.aargauerzeitung.ch/aargau/aarau/buchs-elektroauto-laden-ohne-kabel-eniwa-untersucht-innovative-technologie-ld.2553714>
 - Swisspower:
<https://swisspower.ch/themen-und-standpunkte/elektroauto-laden-ohne-kabel-erstes-projekt-mit-induktivem-laden-in-der-schweiz/>
 - Punkt4info:
<https://punkt4.info/nachrichten/detail/news/schweizer-projektteam-laedt-e-autos-ohne-kabel/>
 - Empa:
<https://www.empa.ch/web/s604/inductive-charging>
 - CEToday:
<https://www.cetoday.ch/elektro/2023-12-22/elektroautos-laden-ganz-ohne-kabel>
 - Energate-messenger:
<https://www.energate-messenger.ch/news/238888/eniwa-und-partner-testen-kabelloses-laden-von-elektroautos>
 - EE-News:
<https://www.ee-news.ch/de/erneuerbare/article/52694/forschungsprojekt-elektroauto-laden-ohne-kabel-projekt-testet-induktives-laden-in-der-schweiz>
- **Landingpage** bietet weiterführende Informationen zum Projekt: wireless-charging.ch, inlade.ch und kabellos-laden.ch.
- **Energy Startup Day 2023** (14. Dezember 2023, Bern): Auf dieser Veranstaltung, die jährlich stattfindet, präsentierten Claudio Richter und Hubert Wolters das Projekt in einem Corporate Pitch. Über 250 Teilnehmer und 42 Startups nahmen teil, was zu einem regen Austausch und



neuen potenziellen Partnerschaften führte. Die Idee des Projekts wurde von den Gästen und Investoren sehr positiv aufgenommen.

<https://www.energy-startup-day.ch/#section-top>

- **Engineers Day 2024:** Auf dieser Veranstaltung, die sich speziell an Ingenieurinnen und Ingenieure richtet, wurde der Stand der Technologie zum induktiven Laden an einem Stand präsentiert, was zu weiteren Fachgesprächen und potenziellen Kooperationen führte.

<https://www.engineersday.ch/veranstaltungen/2024/netzwerkanlass-engineers-day-2024-in-aarau/>

- **Stadtwerkekongress Davos 2024:** Hier wurde das Fahrzeug, das mit induktiver Ladetechnologie ausgestattet ist, vor dem Gebäude ausgestellt.

- **SRF-Dokumentation und Podcast:** Eine ausführliche Berichterstattung zum Kick-Off des Projekts wurde veröffentlicht, um die Technologie einem breiteren Publikum zugänglich zu machen.

<https://www.srf.ch/audio/regionaljournal-aargau-solothurn/eniwa-autos-so-einfach-laden-wie-ein-handy?id=e542c04d-fa5d-47e1-a613-675cfdff9330>

- **Empa Zeitschrift "Quarterly":** Ein Artikel beleuchtet die technologischen Fortschritte sowie die Zusammenarbeit mit der Forschung.

<https://www.empa.ch/web/s604/eq84-induktives-laden>

- **Pitches mit potenziellen Partnern:** Präsentationen vor bedeutenden Fahrzeugherstellern zur Förderung weiterer Kooperationen.

- **Marketingvideos:** Diese wurden produziert, um die Funktionalität und Vorteile der induktiven Ladetechnologie zu veranschaulichen. Vor allem auf der Landingpage oder der Website von WiTricity zu finden.

- **Empa Tag der offenen Tür 2024:** Das ausgestellte Fahrzeug, ausgestattet mit induktiver Ladetechnologie, wird vor einem Plakat und detaillierten Informationen von Mathias Huber vorgestellt.

<https://openday.empa.ch/move-openday>

- **Social Media (LinkedIn etc.):** Projektbeteiligte veröffentlichten zahlreiche Posts, die die neuesten Entwicklungen und Fortschritte des Projekts hervorhoben.

- **SRF 10 vor 10 Beitrag (25. Oktober 2024):** In der beliebten Nachrichtensendung "10 vor 10" auf SRF wurde das Projekt zum induktiven Laden von Elektrofahrzeugen vorgestellt. Der Beitrag beleuchtete die Vorteile der Technologie und zeigte die Pilotinstallation in Buchs, die den Einsatz des kabellosen Ladesystems in der Praxis demonstriert.

<https://www.srf.ch/play/tv/10-vor-10/video/10-vor-10-vom-25-10-2024?urn=urn:srf:video:56b65d1f-c670-4b5d-86ce-64591779a7fb&startTime=1130>

- **Referat anlässlich des jährlichen Energie Anlasses am Hightechzentrum in Brugg (29. Oktober 2024).**

<https://hightechzentrum.ch/event/energie-anlass-2024>



9 Publikationen

Noch keine Publikationen erstellt beziehungsweise veröffentlicht.

10 Literaturverzeichnis

- Ahmad, A., Alam, M. S., & Mohamed, A. A. S. (2019). Design and Interoperability Analysis of Quadruple Pad Structure for Electric Vehicle Wireless Charging Application. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 5(4), 934–945. IEEE Transactions on Transportation Electrification. <https://doi.org/10.1109/TTE.2019.2929443>
- Ajzen I (1991) The Theory of Planned Behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes* 50:179–211
- Dandl, F., Niels, T., & Bogenberger, K. (2020). Design and Control of Park & Charge Lanes for Carsharing Services with Highly-Automated Electric Vehicles**Funding is provided by the German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety through the project City2Share. *IFAC-PapersOnLine*, 53(2), 15420–15427. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.2363>
- Davis, F. D. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319–340. <https://doi.org/10.2307/249008>
- Fett, D., Ensslen, A., Jochem, P., & Fichtner, W. (2018). A Survey on User Acceptance of Wireless Electric Vehicle Charging. *World Electric Vehicle Journal*, 9(3), 3. <https://doi.org/10.3390/wevj9030036>
- Frenzel, I., Jarass, J., Trommer, S., & Lenz, B. (2015, May 26). *Erstnutzer von Elektrofahrzeugen in Deutschland. Nutzerprofile, Anschaffung, Fahrzeugnutzung.* [Berichtsreihe]. <https://elib.dlr.de/96491/>
- Mohammed, S. A. Q., & Jung, J.-W. (2021). A Comprehensive State-of-the-Art Review of Wired/Wireless Charging Technologies for Battery Electric Vehicles: Classification/Common Topologies/Future Research Issues. *IEEE Access*, 9, 19572–19585. IEEE Access. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3055027>
- Schlüter, J., & Weyer, J. (2019). Car sharing as a means to raise acceptance of electric vehicles: An empirical study on regime change in automobility. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 60, 185–201. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2018.09.005>
- Waluga, G. (2023). Induktives Taxi-Ladekonzept als Baustein einer Emissionsreduzierung in Innenstädten. In H. Proff, M. Clemens, P. J. Marrón, & B. Schmölling (Eds.), *Induktive Taxiladung für den öffentlichen Raum: Technische und betriebswirtschaftliche Aspekte* (pp. 9–32). Springer Fachmedien. https://doi.org/10.1007/978-3-658-39979-5_2



11 Anhang

Risikoanalyse Installationsstandort erste Ladestation



Risiko Betrachtung Ladestation Standort Eniwa im Pilotprojekt induktives Laden (INLADE)

Geht an:

Raphael König, Leiter Elektro und Mitglied der Geschäftsleitung

Samuel Pfaffen, Leiter Unternehmensentwicklung und Mitglied der Geschäftsleitung

Roman Bertsch, Leiter Immobilien

Datum:

12. Juli 2024

Von:

Claudio Richter, Projektleiter

Ausgangslage

Die Eniwa AG ist Teil eines Pilotprojekts zum induktiven Laden von Elektrofahrzeugen. Dieses Vorhaben sieht die Installation einer Ladestation vor, die über einen Zeitraum von mehreren Monaten ohne Konformitätserklärung betrieben werden soll. Induktives Laden, auch als kabelloses Laden bekannt, bietet eine innovative Alternative zu herkömmlichen Ladesystemen und hat das Potenzial, den Komfort und die Akzeptanz von Elektrofahrzeugen zu erhöhen. Das Fahrzeug wurde bereits mit dem Receiver, dem Gegenstück zur Ladestation, ausgerüstet und hat erfolgreich die Fahrzeugprüfung des Strassenverkehrsamts bestanden.

Aktuell gibt es keine umfassende Konformitätserklärung für das geplante Ladesystem. Dies bedeutet, dass der Installateur der Anlage, in diesem Fall Eniwa, das Risiko trägt. Die Konformitätserklärung dient normalerweise als Nachweis, dass ein Produkt den geltenden Normen und Vorschriften entspricht und sicher betrieben werden kann. Ohne diesen Nachweis besteht die Gefahr, dass das Ladesystem nicht den erforderlichen Sicherheits- und Qualitätsstandards entspricht, was zu möglichen technischen Problemen, Sicherheitsrisiken und rechtlichen Konsequenzen führen könnte.

In diesem Kontext wird eine umfassende Risikobeurteilung notwendig, um die Sicherheit und Zuverlässigkeit des Pilotprojekts zu gewährleisten und mögliche Haftungsrisiken für die Eniwa AG zu reduzieren. Diese Beurteilung umfasst die Analyse potenzieller Gefahrenquellen, die Entwicklung von Sicherheitsmassnahmen sowie die Prüfung bereits durchgeführter Tests des Herstellers. Sie bildet die Grundlage für die Entscheidungsfindung und die Implementierung geeigneter Risikominderungsstrategien sowie des Standorts.

Gesetzliche Grundlagen / Spezifikationen und Vorabklärungen Hersteller

Gesetzliche Grundlagen:

- Starkstromverordnung (StV)
- Verordnung über elektrische Niederspannungsinstallationen (NIV)
- Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (SUVA) Regelungen
- Verordnung über die Unfallverhütung (UVV)
- Verordnung über das Inverkehrbringen elektrischer Erzeugnisse (EleV)
- Verordnung über den vorbeugenden Brandschutz (VBV)
- Brandschutznorm (VKF)



Spezifikationen und Vorabklärungen Hersteller:

- WiTricity 11 kW Halo Spec Sheet.pdf
- WiTricity_Highly-Resonant-Wireless-Power-Transfer.pdf
- WiTricity BfE Q\u0026As Summary and Links.pdf
- Weitere Testberichte folgen – WiTricity ist gerade an der amerikanischen UL-Zertifizierung

Gefährdungen / Risiken:

Brand Gefährdungen / Risiken

- **Überhitzung:** Ladesysteme können sich erhitzen, insbesondere bei hohen Ladeleistungen über längere Zeit.
- **Materialien:** Verwendung von brennbaren Materialien in der Umgebung der Ladestation kann das Risiko erhöhen.
- **Fehlfunktionen:** Technische Defekte oder Fehler in der Elektronik könnten zu Bränden führen.
- **Kabel und Verbindungen:** Schlechte Verbindungen oder beschädigte Kabel können Kurzschlüsse verursachen.
- **Lüftung:** Unzureichende Belüftung kann zur Ansammlung von Wärme oder brennbaren Gasen und letztlich zu Bränden führen.
- **Umgebungseinflüsse:** Externe Faktoren wie hohe Umgebungstemperaturen, direkte Sonneneinstrahlung oder Vandalismus können das Risiko eines Brandes erhöhen.
- **Sachen und Personenschutz**

Elektrische Gefährdungen / Risiken

- **Kurzschluss:** Fehlfunktionen in der elektrischen Schaltung können Kurzschlüsse verursachen.
- **Überspannung:** Spannungsüberschreitungen können die elektrischen Komponenten beschädigen.
- **Fehlerstrom:** Unsachgemässe Erdung kann zu gefährlichen Fehlerströmen führen.
- **Isolationsfehler:** Mangelhafte Isolierung kann zu Stromschlägen und anderen Sicherheitsrisiken führen.
- **Kontaktgefährdung:** Direkter oder indirekter Kontakt mit unter Spannung stehenden Teilen kann zu Stromschlägen führen. (Mensch und Tier)
- **Fehlende Schutzmechanismen:** Unzureichende Absicherung oder fehlende Schutzmechanismen können das Risiko elektrischer Unfälle erhöhen. (Mensch und Tier)
- **Elektromagnetische Interferenzen:** Induktives Laden erzeugt elektromagnetische Felder, die andere elektrische Geräte stören können.
- **Wartungsmängel:** Unzureichende oder fehlende Wartung kann zu elektrischen Problemen und erhöhten Risiken führen. (Bsp. Software)

Mögliche Varianten / Standorte:

Variante 1: Tiefgarage im Bereich der MA-Parkplätze

Variante 2: Werkhof

Variante 3: Kiesplatz Eniwa (Lagerplatz)

Variante 4: Aussenparkplatz bei Swiss E-Car



Beurteilung der Varianten

Gefährdung	Minimale	Mässige	Grosse
Variante 1			Hohe Brandlast / Zugang externer Personen und Gefährdung Server Eniwa
Variante 2		Kein Platz	
Variante 3	Zugänglichkeit eher schwierig / Use-Case Sharing nicht möglich		
Variante 4 - Akzeptiert		Minimale Brandlast / Anschlüsse vorhanden / öffentlich zugänglich	

Minimale Gefährdung

Die Station kann ohne Aufsicht eingeschaltet und betrieben werden

Mässige Gefährdung

Die Station muss überwacht werden

Grosses Gefährdung

Die Station darf nicht installiert werden

Entscheidungsbegründung für Variante 4:

Nach sorgfältiger Analyse der verschiedenen Varianten haben wir uns entschieden, Variante 4 umzusetzen. Die Entscheidung basiert auf der Abwägung der Gefährdungen und der praktischen Umsetzbarkeit. Variante 3 weist ein geringeres Risiko auf, lässt sich aber nicht mit dem im Projekt zwingend zu prüfenden Use-Case des E-Carsharing vereinen.

Umgesetzte Schutzmassnahmen

- **Überhitzung verhindern:** Ladestation wird freistehend bei einem Aussenparkplatz installiert.
- **Fehlfunktionen minimieren:** Regelmässige Inspektionen und Wartung der elektronischen Komponenten.
- **Umgebungsüberwachung:** Es wird eine Überwachungskamera installiert.
- **Kurzschluss- und Überspannungsschutz:** Installation von Schutzvorrichtungen wie Fehlerstromschutzschalter, Sicherungen und Überspannungsableitern.
- **Erdung und Isolierung:** Sicherstellung ordnungsgemässer Erdung und Isolierung aller elektrischen Komponenten.
- **Wartungsprotokolle:** Implementierung regelmässiger Wartungs- und Inspektionsprotokolle.

Restrisiken nach Umsetzung

- Elektromagnetische Interferenzen könnten weiterhin auftreten.
- Restliches Brandrisiko aufgrund von nicht vorhersehbaren Materialfehlern, Vandalismus oder unkontrollierbaren Umgebungsbedingungen sowie Fehlbedienung.

Buchs, 12.07.2024

Claudio Richter
Projektleiter