

Abschlussbericht zum Verbundvorhaben

Kabelloses Laden von Elektrofahrzeugen

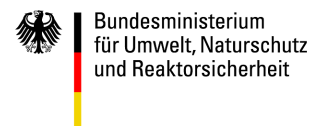
im Rahmen des FuE-Programms
"Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität"

Weil am Rhein, Oktober 2011

Kurztitel: Conductix

Gefördert durch das:

Projektpartner: Conductix-Wampfler AG, Weil am Rhein
Daimler AG, Sindelfingen



Projektlaufzeit: 01.03.2010 – 30.09.2011



FuE-Programm "Förderung von Forschung und Entwicklung im Bereich der Elektromobilität" des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)

Gemeinsamer Abschlussbericht

Vorhabenbezeichnung:

Verbundprojekt: Kabelloses Laden von Elektrofahrzeugen - Conductix

Laufzeit des Vorhabens:

vom:
1.3.10.....

bis:
30.9.11.....

Zuwendungsempfänger:

(Auflistung aller Verbundpartner)

Conductix-Wampfler AG

Daimler AG

Förderkennzeichen:

(FKZ's entsprechend der links angegebenen Verbundpartner)

16EM0045

16EM0046

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	II
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VIII
A. Executive Summary	1
B. Zielstellung des Verbundprojektes (Gesamtziel des Verbundes)	1
C. Zielstellung des Verbundprojektes (Aufgaben der einzelnen Partner)	5
D. Ausführliche Darstellung der erzielten Ergebnisse des Verbundprojektes (Conductix-Wampfler AG)	9
1 Bau eines Testsystems auf Basis der aktuellen Ansätze	9
2 Materialforschung	9
2.1 Materialforschung Fahrzeugseite zu Litzen	10
2.2 Materialforschung Fahrzeugseite zu Magnetfeldführung	10
2.3 Feld unterschiedlicher Spulengrößen	12
2.4 Vergleich einfache Spule mit Doppelspule	12
2.5 Biegetest	13
2.6 Gießversuch	14
2.7 Vergleichsmessung von Ferriten und Alternativmaterial	17
2.8 Vergleichsmessung zerstörter Ferrite	18
2.9 Simulation von 850 mm x 850 mm 3 kW Spulen mit Versatz	19
2.10 Simulation und Optimierung 600 mm x 600 mm Spule 3,3 kW	21
2.11 Simulation unterschiedlicher Abschirmungen	21
2.12 Einfluss der Ferritdicke auf das magnetische Feld bei 3 kW Spulen	25
3 Materialforschung stationäre Seite	27
4 Grundlagen Elektromagnetische Verträglichkeit	28
4.1 Messung magnetischer Feldstärke bei einem Spulenabstand von 130 mm	28
4.2 Messung der Feldstärke bei einem Spulengehäuseabstand von 130 mm an verschiedenen Punkten innerhalb und außerhalb des Spulenbereichs	30
4.3 Feldstärkeverlauf bei Abschirmung mit einer Stahlplatte	32
4.4 Messung Feldstärke 130 mm, großer Messkopf, Stahlplatte	34
4.5 FEM Simulation: Vergleich der Streufelder für 600 mm Einzelspule mit einer 800 mm Einzelspule bei 40 kHz	34
5 Erkennung von Gegenständen und Bewegungen	34
5.1 Messung Objekterwärmung	35

5.2	Temperatur von Gegenständen auf einer stromdurchflossenen Spule.....	36
5.3	Temperatur am Prüfkörper bei unterschiedlichen Frequenzen.....	38
5.4	Temperatur am Prüfkörper bei unterschiedlichen magnetischen Flussdichten.....	39
5.5	Messung Temperatur Objekterkennung – optisch IR (I).....	40
5.6	Messung Temperatur Objekterkennung – optisch IR (II).....	41
5.7	Erkennung von sich erwärmenden Objekten mit einem Bewegungsmelder	41
5.8	Erkennung von erwärmten Objekten mit einer Webcam	42
5.9	Erkennung von Gegenständen auf Basis induktiver Ansätze	43
5.10	Induktiver Erkennung von Objekten	45
5.11	Induktive Erkennung von Objekten (Trafo).....	46
6	Grundlagen Schutz gegen aktive Einwirkungen von außen	46
7	Grundlagen Topologie	47
7.1	Ermittlung der Induktivität und der Verlustleistung einer Ladespule bei 40 kHz.....	47
7.2	Bestimmung der MOSFET Schaltzeiten.....	48
7.3	Simulationsergebnis Versatz	49
7.4	Vergleich sekundäre Rechteckspule mit Quadratspule	52
7.5	Einfluss des Abstandes auf die zu übertragende Leistung	54
8	Grundlagen Topologie stationäre Seite als abgesetzte oder integrierte Lösung.....	56
9	Optimierungspotential Elektronik	57
9.1	Kompensationsmöglichkeiten	57
9.2	Analyse verschiedener Kompensationsstrategien.....	59
9.3	Frequenznachführung.....	60
10	Bau Testsystem unter Berücksichtigung der aktuellsten Erkenntnisse.....	61
11	Optimierungspotential Frequenzen	61
11.1	Übersicht der möglichen Frequenzen	62
11.2	Messung der Verluste einer H-Brücke bei 140 kHz.....	63
11.3	Bestimmung der Verlustleistung in Abhängigkeit der Frequenz	65
11.4	Wirkungsgrad	68
11.5	Messung der Wirkungsgrads eines Spulensystems bei 140 kHz	68
11.6	Nachweis auf Basis von Simulationen	69
12	Optimierungspotential Nahfeldkommunikation	70
12.1	Gegenüberstellung der Kommunikationsmöglichkeiten.....	70
12.2	Optimierungspotential Nahfeldkommunikation, Vergleich der Lösungsansätze.....	70
12.3	Induktive Kommunikation über Energiespulen	72

12.4	Induktive Kommunikation über separate Spulen	72
12.5	Kommunikation mit Transponder ohne Track Supply	73
12.6	Kommunikation mit Transponder	73
13	Grundlagen Initiierung und Durchführung Ladebetrieb in Interaktion mit Fahrzeug und Netzversorgung	74
14	Verifikation elektromagnetische Verträglichkeit	74
15	Begleitforschung Technologiefolgenfälle	75
16	Grundlagen Rückspeisung	77
17	Bau eines induktiven Ladesystems für den Fahrzeugdemonstrator	79
18	Auswertung der Erkenntnisse aus dem Betrieb des Fahrzeugdemonstrators	80
19	Grundlagen elektromagnetisch aktiver Unterboden	81
20	Materialaufbau für elektromagnetisch aktive Unterbodenverkleidungen	83
21	Verarbeitungsverfahren für elektromagnetisch aktive Unterbodenverkleidungen	86
22	Funktions- und Versuchsmusterherstellung Unterboden	90
23	Verifizierung Materialmuster Unterboden	91
24	Verifizierung Bauteilmuster Unterboden	92
25	Verifizierung Unterboden-Bauteil am Fahrzeug	95
26	Zusammenfassung und Ausblick Unterboden	96
E.	Ausführliche Darstellung der erzielten Ergebnisse des Verbundprojektes (Daimler AG)	97
27	Qualifikation des induktiven Übertragungssystems	97
28	Sicherheitskonzept	98
29	Untersuchungen Fahrzeugintegration	101
30	Modifizierung Fahrzeugsysteme für kabelloses Laden	102
31	Fahrzeugdemonstrator Erprobung	103
F.	Darstellung wesentlicher Abweichungen zum Arbeitsplan (Conductix-Wampfler AG)	108
G.	Darstellung wesentlicher Abweichungen zum Arbeitsplan (Daimler AG)	108
H.	Vergleich der Projektergebnisse zum internationalen Stand der Technik	108
I.	Zukunftsaussichten und weiterer F&E-Bedarf	108
J.	Beitrag zu den förderpolitischen Zielen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)	110

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Spulen mit Schrägstellung und Versatz zueinander.....	20
Abbildung 2: Spulen mit Schrägstellung und zueinander verdreht.....	20
Abbildung 3: Simulationsmodell	22
Abbildung 4: Magnetfeld mit Aluabschirmung $x = 0\text{mm}$	22
Abbildung 5: Magnetfeld mit Aluabschirmung $x = 250\text{ mm}$	23
Abbildung 6: Magnetfeld mit Stahlabschirmung $x = 0\text{ mm}$	23
Abbildung 7: Magnetfeld mit Stahlabschirmung $x = 250\text{ mm}$	24
Abbildung 8: Magnetfeld Abschirmung $x = 0\text{ mm}$	24
Abbildung 9: Magnetfeld ohne Abschirmung $x = 250\text{ mm}$	25
Abbildung 10: 3D Ansicht halbes Modell	26
Abbildung 11: 3D Ansicht mit Messstrecke (orange).....	26
Abbildung 12: Einfluss der Ferritdicke auf das magnetische Feld.....	27
Abbildung 13: Feldstärke in μT vs. Abstand Spulenmitte	29
Abbildung 14: Feldstärke in μT vs. Abstand Spulenmitte	30
Abbildung 15: Vergleich Top (μT vs. mm)	31
Abbildung 16: Vergleich Middle (μT vs. mm).....	31
Abbildung 17: Vergleich Bottom (μT vs. mm).....	31
Abbildung 18: Messung der Feldstärke an unterschiedlichen Positionen	33
Abbildung 19: Messobjekte	35
Abbildung 20: Messung Objekterwärmung.....	35
Abbildung 21: Thermisch eingeschwungener Zustand verschiedener Gegenstände bei $250\ \mu\text{T}$	37
Abbildung 22: Thermisch eingeschwungener Zustand verschiedener Gegenstände bei $500\ \mu\text{T}$	37
Abbildung 23: Thermisch eingeschwungener Zustand verschiedener Gegenstände bei $650\ \mu\text{T}$	38
Abbildung 24: Thermisch eingeschwungener Zustand verschiedener Gegenstände bei $1350\ \mu\text{T}$	38
Abbildung 25: Vergleich Erwärmung bei unterschiedlichen Frequenzen	39
Abbildung 26: Vergleich Erwärmung bei unterschiedlichen magnetischen Flussdichten	40
Abbildung 27: Plancksche Strahlungsspektrum	43
Abbildung 28: Testobjekte.....	44
Abbildung 29: Theoretisch übertragbare Leistung bei Versatz der mittig Spulen	49
Abbildung 30: ICNIRP-Grenzwert von $6,25\ \mu\text{T}$	50
Abbildung 31: Theoretisch übertragbare Leistung bei Versatz der nichtmittig abgestimmten Spulen	51

Abbildung 32: ICNIRP-Grenzwert von 6,25 μ T.....	51
Abbildung 33: ICNIRP-Grenzen	52
Abbildung 34: Magnetische Flussdichte auf der Meßebene (15 cm über Abdeckung).....	53
Abbildung 35: Vergleich der Flussdichten, wenn sich nur der Abstand ändert.....	55
Abbildung 36: Vergleich der Flussdichten, wenn 3,2 kW übertragen werden.	55
Abbildung 37: Leistungsverhalten bei unterschiedlichen Basisabständen	56
Abbildung 38: Resonanzanordnung mit möglichen Positionen für die Kompensationskapazitäten.....	58
Abbildung 39: Übertragungsverhalten bei sekundärseitiger Serienresonanz.....	58
Abbildung 40: Übertragungsverhalten bei sekundärseitiger Parallelresonanz	59
Abbildung 41: Auswirkungen der Frequenzen.....	62
Abbildung 42: Last mit serieller Induktivität und Kapazität.....	64
Abbildung 43: Neu abgestimmte Last.....	64
Abbildung 44: Kalkulierte Verlustleistung in einer H-Brücke bei einer Leistung von 3,5 kW.....	66
Abbildung 45: ESR-Verluste in Abhängigkeit der Frequenz	67
Abbildung 46: Verluste von Primär- und Sekundärspule	67
Abbildung 47: Magnetisches Feld in 3 m Abstand.....	75
Abbildung 48: Übersicht F&E-Bedarf.....	81
Abbildung 49: Magnetische Induktion.....	82
Abbildung 50: Ferritpartikel und ihre Relativbewegung im Sinterprozess	82
Abbildung 51: Quelle: Wacker AG - Vernetzung Ferritpartikel mit Silian.....	83
Abbildung 52: Links: REM-Aufnahme Vitroperm 500 / Rechts: REMAufnahme China-Flakes	85
Abbildung 53: Messergebnisse Anfangspermeabilität	85
Abbildung 54: Prinzipdarstellung Fertigungsablauf Sekundrladespule	87
Abbildung 55: Prinzipskizze Fertigungslayout Sekundärspule.....	88
Abbildung 56: Reifen-Latsch zu Rippen im bergreif	89
Abbildung 57: Schematischer Aufbau zum Wärmeintrag in das Ladungssystem	89
Abbildung 58: Simulationsergebnis zum Wärmeeintrag in das Ladungssystem	90
Abbildung 59: Aufbau der Unterbodenverkleidung im Schnittbild	90
Abbildung 60: Unterbodenverkleidung auf der Hannovermesse 2011	91
Abbildung 61: Verformung 100-fach überhöht dargestellt.....	92
Abbildung 62: Verformung 100-fach überhöht dargestellt.....	93
Abbildung 63: Verformung 3-fach überhöht dargestellt	93
Abbildung 64: Verformung 5-fach überhöht dargestellt	94
Abbildung 65: Spannungs-Dehnungs-Diagramm PP-GF30.....	94

Abbildung 66: Laborsystem zur Induktiven Übertragung	97
Abbildung 67: E-Feldmessung am Laborsystem zur Induktiven Übertragung.....	98
Abbildung 68: Induktives Ladesystem eingeschaltet, Messung nach CISPR12 in 3 m Abstand, Fahrzeug Kl. 15 ein.....	100
Abbildung 69: Referenzmessung und Induktives Ladesystem ausgeschaltet.....	100
Abbildung 70: In die Unterbodenverkleidung integrierte Sekundärspule.....	102
Abbildung 71: Visualisierung des Ladevorgangs und Positionierung.....	103
Abbildung 72: Integration der Komponenten in ein Range-Extender Versuchsfahrzeug.....	104
Abbildung 73: Bodenansicht des Erprobungsträgers mit integrierter Sekundärspule in die Unterbodenverkleidung.....	105
Abbildung 74: Induktiver Ladeplatz mit Primärspule und Erprobungsträger.....	106
Abbildung 75: Induktiver Ladeplatz im Außenbereich.....	106
Abbildung 76: Induktiver Außenladeplatz und Erprobungsträger.....	107

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Q-Werte der Meßspulen	10
Tabelle 2: Ergebnis für unterschiedliche Spulen	12
Tabelle 3: Sekundärströme und Magnetfeld.....	21
Tabelle 4: Übersicht Ergebnisse	48
Tabelle 5: Vergleich Flussdichten unterschiedlicher mobiler Spulen	53
Tabelle 6: Vergleich der Kompensationsstrategien bei der Serien-Serien-Anordnung.....	60
Tabelle 7: Vergleich der Kompensationsstrategien bei der Serien-Serien-Anordnung.....	60
Tabelle 8: Gegenüberstellung der Frequenzen	63
Tabelle 9: Gegenüberstellung der Kommunikationsmöglichkeiten	70
Tabelle 10: Übersicht Partikelgrößen unterschiedlicher Flakes	84
Tabelle 11: Auszug aus Materialprüfung	95

A. Executive Summary

Im Rahmen des Förderprojekts erforschen die beteiligten Partner Conductix-Wampfler AG, Weil am Rhein, und die Daimler AG, Stuttgart, die technische Realisierbarkeit eines komfortablen Ladesystems mit hohem Wirkungsgrad und die Potenziale des kabellosen Ladens für automobiler Anwendungen.

Dieses Förderprojekt beruht auf einem hoch integrierten System zur Induktionsladung von Elektrofahrzeugen, das ohne Indikatoren und ohne kinematische oder mechanische Hilfen eine hinreichende Positionierung der fahrzeugseitigen Sekundärspule im Vergleich zur der bauseitig fixierten Primärspule gewährleistet, um eine Energieübertragung mit einem Wirkungsgrad von über 95 Prozent im Luftspalt zu gewährleisten, ohne die Nachteile von bewegten, reibenden und elastischen Komponenten hinsichtlich Energieverbrauch, Funktionssicherheit und Verschleiß mit sich zu bringen.

Beim kontaktlosen, induktiven Laden verläuft das Aufladen der Batterie deutlich einfacher als mit Stecker und Kabel: Der Ladevorgang startet automatisch, sobald das für das induktive Laden ausgerüstete Fahrzeug auf einem entsprechenden Ladepunkt abgestellt wird. Diese induktiven Ladepunkte lassen sich völlig unsichtbar und vandalismussicher im öffentlichen Raum, wie z. B. in Parkhäusern und Parkflächen integrieren. Eine Realisierung für Privathaushalte ist ebenfalls möglich.

Das komfortable Laden erfordert keinerlei Bedienung durch den Fahrer, sieht man von einmal getroffenen Voreinstellungen ab, die u. a. die gewünschten Stromtarife und Reichweiten berücksichtigen. Die Energieübertragung erfolgt induktiv über den Luftspalt zwischen der fest installierten Bodenspule und der Spule im Fahrzeugunterboden ähnlich wie bei einem Transformator. Die Elektronik der Bodenspule erkennt die korrekte Position des Fahrzeugs automatisch und tauscht über eine Kommunikation alle für den Ladevorgang notwendigen Informationen mit dem Fahrzeug aus. Durch den Automatismus beim kabellosen Laden können bei entsprechender Infrastruktur mehr Ladevorgänge bei geringerer Ladestrommenge durchgeführt werden und dadurch zu einer längeren Batterielebensdauer führen.

Der Fahrzeughersteller Daimler integriert die von den Partnern entwickelten fahrzeugseitigen Komponenten des kabellosen Ladesystems mechanisch und elektrisch in das Elektrofahrzeug und erprobt das System unter praxismgerechten Einsatzbedingungen. Das Hauptziel des Verbundprojekts „Kabelloses Laden“ ist ein fahrzeugtaugliches Ladesystem mit hohem Wirkungsgrad und Komponenten mit möglichst wenig Gewicht, Bauraum und Kosten mit besonderer Berücksichtigung aller erforderlichen Sicherheitsanforderungen. Die Innovation liegt in der bisher unerreichten Höhe der Integration auf Fahrzeug- und Bauseite.

B. Zielstellung des Verbundprojektes (Gesamtziel des Verbundes)

Angesichts der zunehmenden Umweltbelastungen durch verbrennungsmotorische Antriebe und die Limitierung fossiler Brennstoffe werden weltweit alternative Antriebskonzepte gesucht. Dem Elektrofahrzeug werden hier sehr gute Chancen eingeräumt. In diesem Umfeld wurde von der Bundesregierung ein nationaler Entwicklungsplan initiiert, um Deutschland zum Leitmarkt für Elektromobilität werden zu lassen. Als wesentliche Ziele dieser Initiative sind dabei zu nennen:

- weg von der Abhängigkeit von fossilen Energieträgern
- Reduzierung von Luftschadstoffen und Lärm, insbesondere in Ballungsräumen
- Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit deutscher Anbieter im globalen Wettbewerb

Dass insbesondere im Hinblick auf den letzten Punkt Handlungsbedarf gegeben ist, zeigen unter anderem die massiven Aktivitäten in den USA, Japan, China und Südkorea.

Im Hinblick auf die ersten beiden Punkte wird allgemein dem Elektrofahrzeug das größte Potential eingeräumt. Lokale Lärm- und Luftschadstoffbelastungen sind hier definitiv kein Thema mehr. Bei Speisung aus regenerativen Quellen, d.h. einem entsprechenden Strom-Mix wäre sogar eine Reduzierung der CO₂ Belastung auf 0 g/km möglich.

Das größte Hemmnis für den kurzfristigen Markterfolg von Elektrofahrzeugen ist die Verfügbarkeit kostengünstiger und leistungsfähiger Energiespeicher. Im Hinblick hierauf wurden von der Bundesregierung im Rahmen des nationalen Entwicklungsplans ebenfalls Aktivitäten auf den Weg gebracht.

Unabhängig von Kosten, Art und Güte des Speichers bleibt als weiterer Themenblock auf jeden Fall das Thema des Ladens zu lösen. Bei der naheliegenden Lösung über eine gesteckte Verbindung ist eine ganze Reihe von Mankos zu berücksichtigen. Sicherheit, Integration von Ladesäulen, Komfort, Vandalismusgefahr seien hier nur exemplarisch genannt.

Verschiedene Studien sehen im Ladevorgang mit Stecker und Kabel das Haupthindernis für den Durchbruch der Elektromobilität zu einem Massenmarkt. Hier gilt es, geeignete Alternativen zu realisieren die den Ladevorgang als Hemmnis der Fahrzeugakzeptanz beseitigen und ihn soweit automatisieren, dass er vom Kunden keine aktive Aktion im Hinblick auf die Handhabung von schweren und ggf. schmutzigen Anschlussleitungen mehr erfordert.

Der Projektantrag beruht auf einem hoch integrierten System zur Induktionsladung von Elektrofahrzeugen, das ohne Indikatoren und ohne kinematische oder mechanische Hilfen eine hinreichende Positionierung der fahrzeugseitigen Sekundärspule im Vergleich zur der bauseitig fixierten Primärspule gewährleistet, um eine Energieübertragung mit einem Wirkungsgrad von über 95 Prozent im Luftspalt zu gewährleisten, ohne die Nachteile von bewegten, reibenden und elastischen Komponenten hinsichtlich Energieverbrauch, Funktionssicherheit und Verschleiß mit sich zu bringen.

Die Innovation liegt in der bisher unerreichten Höhe der Integration auf Fahrzeug- und Bauseite. Der hohe Integrationsgrad wird auf verschiedenen Ebenen und in verschiedenen Bereichen des Systems erreicht:

- fahrzeugseitiger Unterboden in Sandwichbauweise, mit uneingeschränkter Funktionalität hinsichtlich Akustik, Aerodynamik und Steifigkeit sowie mit eingegossenem, ferromagnetischem Homogenisator
- Präzise Positionierung mit Darstellung der aktuellen Position des Fahrzeugs auf einem HMI
- Bodenseitige Überflur- und Unterflurlösung der Primärspule.
- Erkennung von metallischen Gegenständen zur Vermeidung von Verbrennungsgefahren bei zu hoher Temperatur dieser.
- Integration in zwei Fahrzeuge und Darstellung der Tauglichkeit des kontaktlosen Ladens für den täglichen Betrieb.
- bodenseitige Überflurlösung als komplettes Endkundenprodukt mit einem Schukokabel als einzigem elektrischen Außenanschluss und ggf. Elektrik, Elektronik, ferromagnetischem Homogenisator sowie umlaufenden Reflektor idealerweise in einem einzigen Gehäuse vereint

- bodenseitige Unterflurlösung als hochbelastbares Straßenbauelement mit eingegossenem, ferromagnetischem Homogenisator und stationärem Rand-stein- oder Wandelement mit eingebauter Elektronik
- 100 mm Positioniertoleranz und ausreichend geringe Feldstärke durch Homogenisator auf etwa 800 x 800 mm Fläche

Das Fahrzeug kann sowohl der Personenbeförderung als auch für den leichten Lastentransport dienen und von einem Fahrzeugführer gelenkt werden.

Die Projektziele werden wie folgt zusammengefasst:

Problem

Bisher ist der Autofahrer in Deutschland gewohnt, im Schnitt einmal monatlich zu tanken. Das Elektrofahrzeug sollte aber im Idealfall mehrmals täglich an die Steckdose. Ansonsten kommt es häufiger zu Tiefentladungen. Entsprechend steigt die Frequenz der Schnellladevorgänge. Beides mindert die Batterielebensdauer. Die Batterieentsorgungsproblematik und die hohen Verluste der Schnellladung verringern die Gesamteffizienz der kabelgestützten Elektromobilität erheblich.

Die Notwendigkeit, täglich mehrfach mit Stecker und Kabel hantieren zu müssen, wird zur Hauptakzeptanzhürde für Elektrofahrzeuge. Die Verschandelung der Innenstädte mit Ladesäulen, die hohen Schäden durch Vandalismus und Fehlbedienungen, die hohen Kosten für Anschaffung und Betrieb von Ladesäulen, Kabeln und Steckern, Verschmutzungs- und Verschleißanfälligkeit sowie Platzbedarf und Zusatzgewicht des Kabelsets im Auto sind weitere Markteintrittsbarrieren für das Laden mit Kabel und somit für die Elektromobilität insgesamt.

Die bisherigen Ansätze zum kabellosen Laden haben sich umfangreicher und hochkomplexer Verstellhilfen bedient, die eine fahrzeug- und bauseitige Induktionsspule möglichst nah und genau zueinander positionieren sollten. Mit dieser Positioniermimik gingen viele Nachteile einher. Kinematik bedeutet mechanische Arbeit, also Energieaufwand, Verschleiß und Funktionsrisiken. Starre Abstände von Positionsgebern auf Ladeseite bedeuten einen hohen Normierungsaufwand auf Fahrzeugseite. Das so erreichte optimale Positionierungsergebnis bedeutet maximale Energieübertragungseffizienz, die aber vom Energieeinsatz für die mechanische Positionierhilfe und hohem Aufwand für Herstellung, Installation und Wartung geschmälert wird.

Hauptziele des Gesamtvorhabens sind:

- die Erforschung und Erprobung hocheffizienter Methoden zum kabellosen Laden in Elektrofahrzeugen
- Identifikation realisierbarer Ansätze (unter Effizienz-, Volumen-, Gewichts- und Kostenaspekten) für Ladestation-Infrastruktur und Fahrzeugsystem
- Darstellung und Erprobung in 2 Fahrzeugdemonstratoren und der zugehörigen Infrastruktur

Lösung unter- und überflurig

Aufgabe der Verbundkooperation gemäß Projektantrag ist eine Verringerung der System- und Lebenszykluskosten, der Betriebsrisiken, Bedienerfehler und der Fehlfunktionsanfälligkeit durch die weitestgehende Vermeidung von Bedieneringriffen, mechanischer Arbeit und Reibung sowie zusätzlicher oder störanfälliger Sensorik. Ergänzende Lösungen zur Optimierung der Positionierung und maximalem Nutzerkomfort werden im Rahmen des Vorhabens untersucht werden.

Letztendlich erfolgt für den Fahrer das Laden dadurch voll- bzw. halbautomatisch. Der Zusatzaufwand für das Laden im Vergleich zum bisherigen Parken geht für den Nutzer gegen Null. Mit dem Wegfall

aller beweglichen Teile entfallen gleichzeitig die größten Kostenblöcke in Anschaffung und Unterhalt, ebenso die größten Betriebs- und Sicherheitsrisiken. Statt einem zeitraubenden, umständlichen und gefährlichen Ladevorgang bekommt der Verbraucher einen Automatismus. Dieser ist dem gewohnten Tankvorgang mit Flüssigkraftstoffen an der Tankstelle in Komfort, Sicherheit und Kosten überlegen. Nur so wird Elektromobilität zu einem nachhaltigen Massenmarkt. Gleichzeitig erhöht die weitgehend automatisierte Gelegenheitsladung die Gesamteffizienz der induktionsgestützten Elektromobilität. Auf die Flotte hochgerechnet dürfte sie durch weniger häufigeres Vorkommen von Tiefentladung und Schnellladevorgängen eine höhere Systemeffizienz aufweisen als das Laden per Kabel. Diesen Zusammenhängen wird eine Begleitforschung nachgehen.

Batteriebetriebene Fahrzeuge weisen lokal keine Kohlendioxid- und Schadstoffemissionen und deutlich geringere Geräuschemissionen als Fahrzeuge mit konventionellem Antrieb auf.

Mit dem Projekt „Kabelloses Laden von batterieelektrischen Fahrzeugen“ sollen technologische Grundlagen erarbeitet sowie die Akzeptanz und Einführung der Elektromobilität in Deutschland unterstützt werden. Damit soll vor allem in den Städten ein besonders wichtiger Beitrag zum Umweltschutz geleistet werden.

Durch die Versorgung des Fahrzeugs über die Kombination des elektrischen Ladens mit dem verfügbaren urbanen Stromnetz ist die Nutzung der Energie im Fahrzeug und deren Erzeugung entkoppelt. Dies ermöglicht eine freie Wahl der verschiedenen zur Verfügung stehenden Energieträger. Um nicht nur lokal emissionsfreies Fahren zu ermöglichen, sondern global die gesetzten klima- und energiepolitischen Ziele zu erreichen, ist die Kombination von aus regenerativen Quellen (z.B. Wasserkraft, Windkraft oder Photovoltaik) gewonnenen elektrischer Energie und batterieelektrischen Fahrzeugen ideal.

Neben den technischen Aspekten ist es für die erfolgreiche Einführung der Elektromobilität essentiell, dass die Bevölkerung nicht nur über batterieelektrische Fahrzeuge theoretisch informiert wird, sondern diese auch praxisnah erleben kann. Dies kann beispielsweise durch Versorgungsfahrzeuge bzw. Testflotten in ausgewählten Testmärkten geschehen.

Standardisierung

Damit wird die Basis geschaffen, als erste internationale Standards zu definieren und die Elektrofahrzeuge mit entscheidenden Kundenvorteilen auszustatten. Die Weiterentwicklung und Produktion solcher zukunftsweisenden, umweltschonenden Mobilitätssysteme soll dann durch nationale KMU bzw. Lieferanten erfolgen. Die ist ein wichtiger Beitrag, um zusätzlich Arbeitsplätze auf dem zukünftigen Megamarkt für umweltgerechte Fahrzeugtechnologien zu schaffen und damit den Standort Deutschland zu sichern.

Batteriebetriebene Fahrzeuge weisen lokal keine Kohlendioxid- und Schadstoffemissionen und deutlich geringere Geräuschemissionen als Fahrzeuge mit konventionellem Antrieb auf.

Mit dem vorliegenden Projekt „Kabelloses Laden von batterieelektrischen Fahrzeugen“ sollen technologische Grundlagen erarbeitet sowie die Akzeptanz und Einführung der Elektromobilität in Deutschland unterstützt werden. Damit soll vor allem in den Städten ein besonders wichtiger Beitrag zum Umweltschutz geleistet werden.

Durch die Versorgung des Fahrzeugs über die Kombination des elektrischen Ladens mit dem verfügbaren urbanen Stromnetz ist die Nutzung der Energie im Fahrzeug und deren Erzeugung entkoppelt. Dies ermöglicht eine freie Wahl der verschiedenen zur Verfügung stehenden Energieträger. Um nicht nur lokal emissionsfreies Fahren zu ermöglichen, sondern global die gesetzten klima- und energiepolitischen Ziele zu erreichen, ist die Kombination von aus

regenerativen Quellen (z. B. Wasserkraft, Windkraft oder Photovoltaik) gewonnenen elektrischer Energie und batterieelektrischen Fahrzeugen ideal.

Die aktuelle Diskussion um die Planung groß angelegter Ökostromanlagen, wie z. B. DESERTEC in Nordafrika, bekräftigen die Prognosen, dass bereits im Jahr 2020 allein die Solarenergie günstiger sein soll als fossile Energie und verdeutlicht, dass der Handlungsbedarf zur Erschließung der Nutzung des regenerativen Energieanteils aus dem Strom-Mix für den urbanen Individualverkehr massiv wächst.

Da die Elektromobilität in Zukunft zu den Schlüsseltechnologien zählen wird, trägt das Projekt zur langfristigen Stärkung der Zukunftsfähigkeit Deutschlands bei und entspricht dadurch in vollem Umfang den Zielen des Konjunkturpakets 2 der Bundesregierung.

Neben den technischen Aspekten ist es für die erfolgreiche Einführung der Elektromobilität essentiell, dass die Bevölkerung nicht nur über batterieelektrische Fahrzeuge theoretisch informiert wird, sondern diese auch praxisnah erleben kann. Dies kann beispielsweise durch Erprobung der neuen Systeme in Testflotten in ausgewählten Testmärkten geschehen. Gerade in stark genutzten urbanen Gebieten (Einkaufszonen, Innenstadt, Parks) steht lokale Emissionsminimierung im Vordergrund.

C. Zielstellung des Verbundprojektes (Aufgaben der einzelnen Partner)

Conductix-Wampfler AG

Im Rahmen der Arbeitspakete der Conductix-Wampfler AG (incl. Röchling Automotive Aktivitäten) soll besonderes Augenmerk auf die Systemoptimierung jenseits der reinen Energieübertragung, wie sie heute bereits bekannt und praktikierbar ist, gelegt werden.

Gemeinsam mit der Daimler AG sollen an einem ersten Demonstrator die Technologie und Ihre Einflussfaktoren untersucht werden. Des Weiteren sollen die Kenndaten eines induktiven Übertragungssystems untersucht und bestimmt werden.

Zu einem zentralen Untersuchungsumfang bei dem beide Projektpartner in engem Kontakt stehen gehört die Materialforschung an den Systemkomponenten auf dem Fahrzeug. Hier insbesondere im Hinblick auf die Findung kosten-, gewichts-, volumen- und effizienzoptimierter Ansätze.

Bei den fahrzeugseitigen Systemkomponenten ist hier Gewichtsreduzierung durch Leichtbau das zentrale Ziel. Die bisherigen Fahrzeugkonzepte sind in Bezug auf das Package mit konventionellen Antrieben optimiert. Der simple Einbau anderer Systemkomponenten stellt dementsprechend immer eine suboptimale Lösung dar. Deshalb sind im Rahmen des Projektes innovative Gestaltungsansätze für die Integration und die Anbindung der Leistungsaufnehmer im Unterboden zu erforschen. Dies betrifft sowohl Fahrzeugkonzepte mit hoher Fahrzeugarchitektur (wie z. B. Daimler A/B-Klasse in Sandwichbauweise) als auch Fahrzeuge mit niedriger (klassischer) Fahrzeugarchitektur (wie z. B. Daimler S/E/C-Klasse).

Ein entscheidender Baustein dazu ist die Lösung des Gewichtsproblems durch die zusätzlichen elektrischen Komponenten. Dies ist insbesondere durch den Einsatz von Hochleistungswerkstoffen wie faserverstärkten Kunststoffen möglich. Es ist zu untersuchen, wie sich diese neuen, derzeit vergleichsweise teuren Werkstoffe unter den wirtschaftlichen Randbedingungen optimal einsetzen lassen. Vor dem Hintergrund der neuen elektrischen Anforderungen an den Rohbau sind darüber hinaus Grundsatzuntersuchungen an neuen Materialkombinationen von Strukturwerkstoffen

durchzuführen. Ein Ansatzpunkt stellen sog. Polymer-Hybrid-Konstruktionen dar. Diese können je nach Anforderung aus Kunststoff-Metall-Hybriden oder aber faserverstärkten Kunststoff-Kunststoff-Hybriden bestehen.

Ein besonderer Schwerpunkt wird hierbei auf der Untersuchung unterschiedlicher Ansätze zur Magnetfeldführung liegen. Ergänzend sollen Einbauvarianten untersucht und optimiert werden. Ein besonders interessanter Ansatz wird die Untersuchung eines integralen Einbaus einer Sekundärspule in einer Fahrzeugunterbodenverkleidung darstellen. Diese Untersuchung wird in enger Zusammenarbeit mit Röchling Automotive erfolgen und Grundlagenuntersuchungen zum Aufbau elektromagnetisch aktiver Unterbodenbodenverkleidungen, zu Verarbeitungsverfahren, sowie den Aufbau und die Verifizierung von Funktions- und Versuchsmustern im Labor und am Fahrzeugdemonstrator beinhalten. Die Anteile der Daimler AG an diesen Untersuchungen werden sich im Wesentlichen auf die fahrzeugseitigen Anteile konzentrieren. Die Untersuchungen der beiden Projektpartner erfolgen in enger Abstimmung.

Einen zweiten Schwerpunkt bilden Arbeitspakete zur Untersuchung und Optimierung im Bereich der Sicherheit des kabellosen Ladens. Einer der Hauptarbeitsbereiche bildet hier der Bereich Elektromagnetische Verträglichkeit, sowohl in Bezug auf die Minimierung von Feldabstrahlungen als auch im Hinblick auf die Wechselwirkungen mit anderen Elektrischen/Elektronischen Systemen im Systemverbund. Ergänzend sollen Grundlagen zum Erkennen von Gegenständen und Bewegungen im Bereich der induktiven Übertragung, mittels unterschiedlicher technischer Ansätze, untersucht werden. Des Weiteren wird die aktive ggf. missbräuchliche Einwirkung von außen untersucht werden. Auch dieser Schwerpunkt ist Untersuchungsumfang beider Projektpartner. Von Seiten der Daimler AG werden die Sicherheitsanforderungen aus der Sicht eines Fahrzeugbauers definiert und vorbereitende Untersuchungen zum Nachweis der Konformität voran getrieben werden.

Neben dem Optimierungspotential über den Einsatz neuer Materialien und Materialkombinationen soll in weiteren Arbeitspaketen das Potential verschiedener Topologieansätze in allen Systemkomponenten, im Hinblick auf kosten-, gewichts-, volumen- und effizienzoptimierter Ansätze, untersucht werden. Aufgrund der veränderten Rohbaustrukturen ist mit einer Verschiebung sicherheitsrelevanter Lastpfade (Steifigkeit, Crash) zu rechnen. Mit Hilfe der Topologieoptimierung, die auf bionischen Ansätzen basiert, kann bei Fahrzeugstrukturen der Materialeinsatz hinsichtlich der wirkenden Lastpfade optimiert werden. Dies ermöglicht ggf. die Entwicklung belastungsoptimierter Leichtbaustrukturen.

Des Weiteren sollen die Optimierungsmöglichkeiten im Elektronikbereich aller Systemkomponenten, insbesondere im Hinblick auf einen Masseneinsatz, untersucht werden. Ein ergänzender Aspekt wird hier auch die Untersuchung alternativer Frequenzen zur induktiven Energieübertragung sein.

Als notwendiges ergänzendes Element zur Energieübertragung ist eine Lösung zur Nahfeldkommunikation als sehr wahrscheinlich anzusehen. Konventionelle auf Funk basierende Systeme (WLAN, GSM, etc.) erfordern einen hohen Auslegungsaufwand. Außerdem sind Missbrauchsszenarien und Störungen als sehr wahrscheinlich anzusehen. In einem weiteren Arbeitspaketblock sollen daher unterschiedliche Ansätze zur Nahfeldkommunikation untersucht und bewertet werden. Ein besonderes Augenmerk wird hier auch auf der induktiven Übertragung liegen. Da diese sowohl im Hinblick auf den Aufwand, die Störanfälligkeit als auch den Missbrauch sehr viel versprechend erscheint.

Die Untersuchung des Ladebetriebs in Interaktion mit dem Energiespeicher und der entsprechenden Fahrzeugelektronik wird ein weiterer zentraler Untersuchungsumfang sein. Zum einen soll die optimale Initiierung, zum anderen die Effizienzoptimierung des Ladevorganges selbst untersucht werden. Die bedarfsorientierte Leistungsvariation ist hier ein sehr erfolgversprechender Ansatz. Die

separat untersuchte Nahfeldkommunikation wird ein essentieller Baustein sein, um den Ladevorgang zu optimieren.

Durch die kabellose Ladung ist von einem, gegenüber dem kabelgebundenen Laden, anderen Nutzerverhalten auszugehen. Der Zufallsfaktor Mensch, der bewusst oder unbewusst die Kabelverbindung nicht immer und überall herstellen wird, entfällt beim kabellosen Laden. Die Verbindung zum Versorgungsnetz wird dadurch zuverlässiger und planbarer erfolgen. Elektrofahrzeuge können damit zum „intelligenten Schwarm“ werden und so sowohl als Energienutzer als auch ggf. externer Energiespeicher im Systemverbund betrachtet werden. Dies wird in unterschiedlichen Bereichen, z.B. dem Netzmanagement, technologische Folgen haben. Solche Folgen sollen in einer begleitenden Forschung untersucht werden.

Wie bereits angedeutet, kann die Nutzung von Elektrofahrzeugen als externe Pufferspeicher von zentraler Bedeutung für die Energiewirtschaft und damit mittelbar die Elektromobilität werden. Besondere Bedeutung können sie für die zukünftige Nutzung regenerativer Energiequellen erlangen, da diese zumeist nicht bedarfsorientiert (insbesondere Wind- und Solarenergie nicht) zur Verfügung und daher eine Zwischenspeicherung erfordern. Im Hinblick auf die Gesamteffizienz solcher Netze bevorzugt als dezentrale Lösung. Um Elektrofahrzeuge irgendwann hierfür nutzen zu können, ist eine effiziente Netzurückspeisung zwingend erforderlich. Die entsprechenden Grundlagen werden im Rahmen des Förderprojektes untersucht und bewertet.

Die Erkenntnisse werden situationsbezogen unmittelbar in die nachfolgenden Arbeitspakete einfließen. Es wird angestrebt, alle jeweils gewonnenen Erkenntnisse zeitnah in die Abarbeitung der nachfolgenden Arbeitspakete einfließen zu lassen.

Begleitend zu den Untersuchungen in den Arbeitspaketen werden in unterschiedlichen zeitlichen Abständen, auf dem dann jeweils aktuellsten Erkenntnisstand, Mess- und Testaufbauten realisiert werden.

Ein zentraler Meilenstein im Gesamtvorhaben wird der Aufbau eines kabellosen Ladesystems, unter Einbeziehung der im Förderprojekt gewonnenen Erkenntnisse sein, das dann in den durch die Daimler AG erstellten Fahrzeugdemonstratoren eingebaut und erprobt werden wird.

Beide Projektpartner werden im Vorfeld zur Integration diesbezügliche Untersuchungen vorantreiben. Ziel der Untersuchungen ist die Festlegung der Kriterien für die Gestaltung und Erstellung der induktiven Komponenten zum Fahrzeugeinbau.

Daimler AG

Das Prinzip des induktiven Aufladens der Batterien ist für diese technologische Herausforderung eine von der Handhabung her ideale und äußerst vielversprechende Lösung. Einfach und ohne Kabel sollen so für die Elektrofahrzeuge ergänzend zu kabelgebundenen Ladestationen eine Vielzahl zusätzlicher Lademöglichkeiten erschlossen werden.

Beim vorliegenden Projekt geht es darum, das Prinzip des induktiven Ladens auf seine Machbarkeit im Kraftfahrzeug hin zu erforschen und die erforderlichen Technologien im Bereich Fahrzeug- und Infrastruktur für einen Pilotbetrieb zu entwickeln und zu erproben.

Die Projektziele werden wie folgt zusammengefasst:

- die Erforschung und Erprobung hocheffizienter Methoden und Verfahren zur kabellosen Ladung von Elektrofahrzeugen
- Identifikation und Verifikation realisierbarer Ansätze (unter Effizienz-, Volumen-, Gewichts- und Kostenaspekten) für die Fahrzeugsystem- und Ladestation-Infrastruktur

- Darstellung und Erprobung in zwei Demonstratorfahrzeugen mit der zugehörigen Infrastruktur

Seitens der Daimler AG wird das Fahrzeug bzw. die Fahrzeugsoftware so vorbereitet, dass ein kabelloses Laden realisiert werden kann.

Durch die Daimler AG werden 2 Fahrzeugdemonstratoren erstellt werden. Das erste Fahrzeug steht ab Projektbeginn zur Verfügung. An diesem Fahrzeug sollen alle Voruntersuchungen vorgenommen werden und die bis dato gewonnen Erkenntnisse ggf. verifiziert werden. Zum vierten Quartal 2010 steht ein zweites Fahrzeug zur Verfügung, das dann direkt auf den Stand aufgebaut werden soll, der Basis für die Erprobung sein wird. Das erste Fahrzeug wird schrittweise auf diesen Stand gebracht werden.

In einem abschließenden Arbeitspaket soll die Erprobung der kabellosen Ladesysteme in den Fahrzeugdemonstratoren, das durch die Daimler AG erfolgt, begleitet und gewonnene Erkenntnisse, im Hinblick auf die Realisierung zukünftiger kommerzieller Verwertungen, analysiert und dokumentiert werden.

D. Ausführliche Darstellung der erzielten Ergebnisse des Verbundprojektes (Conductix-Wampfler AG)

1 Bau eines Testsystems auf Basis der aktuellen Ansätze

Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Zu Beginn des Projektes stand noch kein geeigneter Messaufbau zur Verfügung, da es bisher für Fahrzeuge der Pkw-Klasse weltweit derzeit noch keine Felderprobung gibt. Auf Basis gegebener modifizierter Elektronikkomponenten (aus anderen Anwendungsbereichen) und neuer Primär- und Sekundärspulen sollte ein Aufbau realisiert werden, der als Messbasis dienen kann.

Beim Aufbau wird berücksichtigt, dass neue Erkenntnisse aus anderen Arbeitspaketen in einem gewissen Rahmen einfließen können und im Rahmen des Aufbaus messtechnisch bewertet werden können.

Ziel: Messaufbau als Basis für zukünftige messtechnische Bewertungen

Ergebnis

Auf Basis des zum Start des Projektes Know-Hows wurde ein erstes Testsystem entwickelt, welches aus einem Einspeisekonverter, Primärspule), Sekundärspule und einem Regler bestand.

- Einspeisekonverter: Basiert auf einer Frequenz von 40 kHz bei einer aufnehmbaren Leistung von 3,68 kW.
- Primärspule: Bodenaufbauvariante ohne Optimierungen jeglicher Art
- Sekundärspule: Baugleich zur Primärspule
- Regler: Basis war ein Industrieregler ohne Kommunikationsschnittstelle und Batterieladekennlinie

Dieses Übertragungssystem diente nur zu Laborzwecken und um Erfahrungen zu sammeln, wo und wie man etwas zu optimieren hat, um die Ziele in diesem Projekt schnell und effizient erreichen zu können.

2 Materialforschung

Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Die heute bekannten Lösungsansätze zur induktiven Energieübertragung sind auf Komponenten und Prinzipien aufgebaut die hohe Kosten zur Folge haben und insbesondere fahrzeugseitig ein erhebliches Mehrgewicht und großes Einbauvolumen zur Folge hätten.

Durch die Untersuchung alternativer Ansätze auf Basis neuer Materialien und Materialkombinationen, etc. sind hier deutlich effizientere Lösungsansätze zu erwarten. Allerdings sind hierzu umfangreiche Untersuchungen notwendig.

Ziel: Findung kosten-, gewichts-, volumen- und effizienzoptimierter Ansätze

Ergebnisse

2.1 Materialforschung Fahrzeugseite zu Litzen

Aufgabe:

Untersuchung und Vergleich zweier unterschiedlicher Litztypen bei unterschiedlichen Frequenzen.

Litzen:

1. 1400 x 0,1mm Litze
2. 2772 x 0,071mm Litze

Mit diesen Litzen wurden jeweils eine Meßspulen bestehend aus zwei Windungen gemacht. Zusätzlich wurde eine Spule mit 10 Windungen, Ferriten und einem Aluminiumschirm verwendet.

Ergebnis:

RLC-Meter mit ausgangsseitigen 10V

	20kHz	40kHz	60kHz	80kHz	100kHz	120kHz	140kHz
1400 x 0,1	203	311	379	420	443	448	447
2772 x 0,071	273	451	588	707	838	955	1103

Tabelle 1: Q-Werte der Meßspulen

2.2 Materialforschung Fahrzeugseite zu Magnetfeldführung

Vergleich Spulengeometrie

Aufgabe:

Ein optimierter 770mm x 770mm Spulenaufbau wurde mit einer runden optimierten Spule mit gleicher Grundfläche (0,49m²) verglichen.

Ergebnis:

Die Spulenkfigurationen weisen ein nahezu identisches Verhalten auf. Die Runde Spule kann jedoch deutlich einfacher optimiert werden und weist bei erhöhter Windungszahl einen minimal besseren Kopplungsfaktor, sowie eine erhöhte Induktivität auf. Allerdings sind die Maximalabmessungen größer.

Untersuchung Kopplungsfaktor

Änderung Ferritinnendurchmesser

Aufgabe:

Mithilfe des 2D FEM Modells wurde zunächst der Einfluss verschiedener geometrischer Parameter auf den Koppelfaktor als Funktion des Luftspaltes (50 bis 170 mm) untersucht. Der Vorteil der 2D FEM Simulation liegt im geringen Zeitaufwand im Vergleich zur 3D FEM Simulation. Hierbei wird der Innendurchmesser des Ferrits variiert.

Ergebnis:

Die Änderung des Innendurchmessers hat nur einen geringen Einfluss auf die Kopplung, wobei die Kopplung mit zunehmendem Luftspalt sinkt.

Änderung Innen- und Außenradius des Ferrits

Aufgabe:

Ermittlung des Einfluss verschiedener geometrischer Parameter auf den Koppelfaktor als Funktion des Luftspaltes (50 bis 170 mm) bei unterschiedlichen Innen- und Außenradien des Ferrits.

Ergebnis:

Die geringere Änderung des Koppelfaktors, insbesondere bei kleinen Durchmessern, stellt hierbei eine gute Optimierungsmöglichkeit, auch bzgl. des Gewichtes dar.

Änderung Geometrie der Wicklung

Aufgabe:

Ermittlung des Einfluss verschiedener geometrischer Parameter auf den Koppelfaktor als Funktion des Luftspaltes (50 bis 170 mm) bei unterschiedlichen Wicklungsgeometrien.

Ergebnis:

Die Untersuchung zeigt, dass ein geringerer Wicklungsdurchmesser eine starke Verringerung des Koppelfaktors zur Folge hat.

Seitliche Verschiebung der Spulen

Aufgabe:

Ermittlung des Einfluss der seitlichen Verschiebung auf den Koppelfaktor als Funktion des Luftspaltes (50 bis 170 mm) bei unterschiedlichen Wicklungsgeometrien. Zur Untersuchung werden folgende Spulensysteme herangezogen:

1. Gleichgroße Spulen
2. Spulen mit doppeltem Durchmesser wie unter 1.
3. Spule mit einfachem Durchmesser und mit einem doppelten Durchmesser
4. Spulen mit quadratischen Wickelfenstern

Ergebnis:

1. Prinzipiell sinkt die Kopplung mit zunehmendem Luftspalt und auch die seitliche Verschiebung hat einen ähnlichen Einfluss. Allerdings wird der Einfluss der Verschiebung mit zunehmendem Luftspalt geringer.
2. Der Koppelfaktor des Spulensystems mit doppeltem Durchmesser ist nur geringfügig größer als bei dem Spulensystem mit einem einfachen Durchmesser. Die Vergrößerung des Spulensystems hat bezüglich des Koppelfaktors also kaum Vorteile.
3. Auch mit unterschiedlich großen Spulen werden ähnliche Koppelfaktoren erzielt.

- Die Übertragungsanordnung mit quadratischen Wickelfenstern hat gegenüber den anderen Untersuchungen eine geringere Kopplung beim kleinsten Luftspalt und keine Verschiebung, sinkt aber bei Verschiebung und Luftspaltänderung auf ähnliche Werte ab.

2.3 Feld unterschiedlicher Spulengrößen

Aufgabe:

Wenn Spulen kleiner werden, reduziert sich auch das Feld außerhalb des Spulensystems bei einem gleichen Primärstrom. Jedoch muss bei kleineren Spulengrößen der Primärstrom angehoben werden, um die gleiche Leistung übertragen zu können. Somit erhöht sich auch die Flussdichte zwischen den Spulen. Zur Bestimmung dieser Flussdichten wurde rechteckspulen der Größe 900 mm, 800 mm, 700 mm und 600 mm simuliert, wobei nur die Proportionalität in x- und y-Richtung verändert wurden. Die z-Richtung, welches die Spulenhöhe darstellt, blieb konstant. Neben der zu übertragene Leistung von 3 kW blieb der Luftspalt zwischen den Spulen mit 140 mm ebenfalls konstant.

Ergebnis:

Pad size	Field on Primary Pad (mT)	Field at 300 mm (uT)	Est. FIELD at 300 mm averaged over 100 mm Dia. Probe (uT)
600	1.8mT	6 – 10 uT	7.89 uT
700	1.6mT	4.5 – 6.7 uT	5.33 uT
800	1.3mT	3.5 – 7.8 uT	5.9 uT
900	1.2mT	3.2 – 4.45 uT	3.55 uT

Tabelle 2: Ergebnis für unterschiedliche Spulen

Man erkennt, dass eine Spule der Größe von 700 mm x 700 mm ein geringeres Streufeld besitzt als eine 800 mm x 800 mm Spule. Allerdings ist das Feld zwischen den Spulen um 123 % höher.

2.4 Vergleich einfache Spule mit Doppelspule

Zum Vergleich kamen jeweils eine durch Simulationen optimierte Einfachspule und Doppelspule. Die Spulen besaßen jeweils eine Größe von 840 x 840 mm und hatten einen Luftspalt von 140 mm (Cu-Cu).

Zunächst wurde der Kopplungsfaktor beider Spulen bestimmt.

Schlussfolgerung:

Die Einfachspule besitzt einen geringeren Kopplungsfaktor im Vergleich zur Doppelspule, allerdings generiert die Einfachspule ein geringeres Streufeld. Dies kommt besonders beim Versatz von $dX = 100$ mm und $dY = 100$ mm bei einer Frequenz von 140 kHz zum Tragen, um am Türschwelle die entsprechenden internationalen Empfehlungen (z.B. ICNIRP) einzuhalten.

Die resultierenden Sekundärströme in der Einfachspule sind aufgrund des schlechteren Kopplungsfaktors deutlich höher als in der Doppelspule. Betrachtet man jedoch die magnetischen Grenzwerte, so weist sie deutlich bessere Werte als die Doppelspule auf.

2.5 Biegetest

Ziel des Tests:

Es gilt herauszufinden, wie sich Ferrite mit unterschiedlichen Klebstoffen bei einer bestimmten Durchbiegung verhalten. Dieser Test soll simulieren was mit Ferriten passieren kann wenn sie unter ein Fahrzeug gehängt werden und mit welchen Möglichkeiten die Ferrite auf einer Trägerplatte befestigt werden können.

Test 1

Testobjekte: Ferrit 110 x 15 x 3
Trägerplatte: Aluminiumplatte 400 x 50 x 2
Kleber: doppelseitiges Klebeband, Loctite 601

Ergebnis:

Es hat sich herausgestellt, dass der Ferrit, der mit doppelseitigem Klebeband fixiert war, an der Stelle mit der stärksten Biegung gebrochen ist. Es hat sich herausgestellt, dass hier der Ferrit der schwächere Faktor ist und zuerst bricht. D.h. das Klebeband macht die Bewegung des Tragbleches mit und zwingt den Ferrit das Gleiche zu tun. Durch die geringe Dicke des Ferrites kann er nicht gegen das Klebeband ankommen und bricht. (bei Durchbiegung ca. 3 mm)

Bei dem Ferrit, der mit Loctite 601 angeklebt wurde, hat sich herausgestellt, dass der Kleber der schwächere Faktor ist und zuerst bricht. D.h. Ferrit bricht nicht, würde allerdings lose umherfliegen. (bei Durchbiegung ca. 3 mm)

Test 2

Testobjekte: Ferrit 110 x 110 x 6
Trägerplatte: Aluminiumplatte 400 x 200 x 2
Kleber: doppelseitiges Klebeband, Loctite 648 mit Aktivator 7649

Ergebnis:

Bei dem Ferrit, der mit Loctite 648 angeklebt wurde, hat sich herausgestellt, dass der Kleber der schwächere Faktor ist und zuerst bricht. D.h. Ferrit bricht nicht, würde allerdings lose umherfliegen. (bei Durchbiegung ca. 7 mm)

Bei dem Ferrit, der mit doppelseitigem Klebeband angeklebt wurde, hat sich herausgestellt, dass weder das Klebeband noch der Ferrit nachgibt oder bricht. D.h. Ferrit biegt sich nicht durch, zieht aber das Klebeband an den Seiten nach oben. Durch die Flexibilität des Klebebandes hält die Verbindung eine Durchbiegung von 10 mm stand.

Test 3

Testobjekte: Ferrit 110 x 15 x 3
Trägerplatte: Aluminiumplatte 400 x 50 x 2
Kleber: Loctite 601, Loctite 648 mit Aktivator 7649

Ergebnis:

Bei dem Ferrit, der mit Loctite 648 angeklebt wurde, hat sich herausgestellt, dass der Kleber der schwächere Faktor ist und zuerst bricht. D.h. Ferrit bricht nicht, würde allerdings lose umherfliegen. (bei Durchbiegung ca. 2 mm)

Bei dem Ferrit, der mit Loctite 601 angeklebt wurde, hat sich herausgestellt, dass der Kleber der schwächere Faktor ist und zuerst bricht. D.h. Ferrit bricht nicht, würde allerdings lose umherfliegen. (bei Durchbiegung ca. 4 mm)

Test 4

Testobjekte: Ferrit 110 x 15 x 3
Trägerplatte: Aluminiumplatte 400 x 50 x 2
Kleber: Loctite 330, Doppelseitiges Klebeband

Ergebnis:

Bei dem Ferrit, der mit Loctite 330 angeklebt wurde, hat sich herausgestellt, dass der Ferrit der schwächere Faktor ist und zuerst bricht. Der Kleber Loctite 330 hat den Vorteil, dass er sehr flexibel ist die Biegungen mitmachen kann. D.h. Bevor sich der Ferrit vom Kleber löst, bricht er, bleibt jedoch an seiner Position. (bei Durchbiegung ca. 8 mm)

Bei dem Ferrit, der mit doppelseitigem Klebeband angeklebt wurde, hat sich herausgestellt, dass der Ferrit der schwächere Faktor ist und zuerst bricht (allerdings erst bei einer Durchbiegung von 18 mm). Das doppelseitige Klebeband hat den Vorteil, dass es sehr flexibel ist die Biegungen mitmachen kann. D.h. Bevor sich der Ferrit vom Kleber löst, bricht er, bleibt jedoch an seiner Position. (bei Durchbiegung ca. 18 mm)

2.6 Gießversuch

Ziel des Tests:

Es gilt herauszufinden, wie sich unterschiedliche Vergussmassen mit oder ohne Ferritpulver am besten vergießen lassen können. Es soll sowohl ein Prozess gefunden werden zum Vergießen von Ferriten als auch die ideale Beimischung von Ferritpulver.

Test 1

Gussform: 50 x 20x10
Vergussmasse: Polyurethan (EL171C) von Robnor Resins aus 2 Komponenten (Polyurethan RL171C , Härter HL171C

Härte (Shore): 70
Ferrit: kein Ferrit
Trennmittel: kein Trennmittel

Ergebnis:

Die Vergussmasse ließ sich nicht entformen. Die zuvor eingebrachten Schrauben (zum Ausbringen der Vergussmasse) rissen aus und halfen somit nicht die Vergussmasse aus der Form zu bekommen. Die Vergussmasse ließ sich nur mit Werkzeugen (Schraubendreher, kleiner Meißel etc.) aus der Form bekommen => Vergussmasse war zerstört.

Test 2

Gussform: 50 x 20x10
Vergussmasse: Polyurethan (EL171C) von Robnor Resins aus 2 Komponenten (Polyurethan RL171C , Härter HL171C
Härte (Shore): 70
Ferrit: kein Ferrit
Trennmittel: Schmierfett

Ergebnis:

Die Vergussmasse ließ sich dank des Schmierfettes ohne Probleme entformen. Der Nachteil des Fettes liegt darin, dass die Vergussmasse das Fett nicht verdrängen kann und somit nicht die gewünschte Form erhielt.

Test 3

Gussform: 50 x 20x10
Vergussmasse: Polyurethan (EL171C) von Robnor Resins aus 2 Komponenten (Polyurethan RL171C , Härter HL171C
Härte (Shore): 70
Ferrit: kein Ferrit
Trennmittel: Folie

Ergebnis:

Die Vergussmasse ließ sich dank der Folie ohne Probleme entformen. Der Nachteil der Folie liegt darin, dass die Vergussmasse die Folie nicht verdrängen kann und somit nicht die gewünschte Form erhielt.

Test 4

Gussform: Kuchenform

Vergussmasse: Polyurethan (EL171C) von Robnor Resins aus 2 Komponenten (Polyurethan RL171C , Härter HL171C)
Härte (Shore): 70
Ferrit: kein Ferrit
Trennmittel: Teflon (Beschichtung von Kuchenform)

Ergebnis:

Die Vergussmasse ließ sich nur durch größeren Kraftaufwand (Schraubendreher) entformen.

Test 5

Gussform: keine Gussform
Vergussmasse: Polyurethan (EL171C) von Robnor Resins aus 2 Komponenten (Polyurethan RL171C , Härter HL171C)
Härte (Shore): 70
Ferrit: gesinterter Ferrit (50x20x10) und (100x100x3)
Trennmittel: kein Trennmittel

Ergebnis:

Die Vergussmasse lässt sich nur mit sehr hohem Kraftaufwand von den Ferriten lösen.

Test 6

Gussform: 50 x 20x15
Vergussmasse: Epoxidharz (EP50) von WEVO aus 2 Komponenten (Epoxid EP50, Härter 263)
Härte (Shore): 20
Ferrit: kein Ferrit
Trennmittel: Schmieröl

Ergebnis:

Die Vergussmasse ließ sich dank des Schmieröls ohne Probleme entformen. Kontur wurde 1:1 wiedergegeben

Test 7

Gussform: Kuchenform/ Messbecher
Vergussmasse: Epoxidharz (EP50) von WEVO aus 2 Komponenten (Epoxid EP50, Härter 263)
Härte (Shore): 20
Ferrit: Ferritpulver (ca. 30%)
Trennmittel: Schmieröl

Ergebnis:

Die Vergussmasse ließ sich dank des Schmieröls ohne Probleme entformen. Kein wesentlicher Unterschied (Konsistenz) zu Vergussmasse ohne Ferrit zu erkennen/ erfühlen.

Test 8

Sättigungstest von Ferritpulver:

Vergussmasse 1: Epoxidharz (EP50) von WEVO aus 2 Komponenten (Epoxid EP50, Härter 263)
Härte (Shore): 20
Vergussmasse 2: Epoxidharz (VE) von WEVO aus 2 Komponenten (VE, Härter 263)
Härte (Shore): 80
Ferrit: Ferritpulver der Firma Tridelta

Ergebnis:

Bis zu einem Volumenprozent von 60% Ferritpulver lässt sich die Mischung noch gut handhaben. Das bedeutet, dass die Vergussmasse noch so fließfähig ist um damit gesinterte Ferrite zu umfließen (ohne die Form klopfen oder schütteln zu müssen).

Bei einem Volumenprozent > 60% Ferritpulver fängt die Vergussmasse an teigig zu werden. Um zu gewährleisten, dass gesinterte Ferrite oder Vergussformen ideal mit Vergussmasse umflossen/ ausgefüllt werden, müssen diese geklopft oder geschüttelt werden. Bei einem prozentualen Anteil von ca. 75 muss die Vergussmasse mit einem Spachtel verstrichen werden. => ungeeignet für zukünftige Fertigung.

2.7 Vergleichsmessung von Ferriten und Alternativmaterial

Ziel des Tests:

Es gilt herauszufinden, mit Hilfe des Kopplungsfaktors, wie gut oder wie schlecht Alternativmaterialien zu gesinterten Ferriten abschneiden. Es werden Materialien gesucht die im gleichen/ähnlichen Leistungsspektrum liegen wie Ferrite bei gleichzeitig geringerem Gewicht. Das Gewicht ist entscheidend für einen Spulenverbau unter einem PKW.

Aufbau des Tests:

Es wird zuerst die Induktivität der einzelnen Testkörper ermittelt. Im nächsten Schritt wird der Kopplungsfaktor unterschiedlicher Materialien zueinander gemessen und zwar wie folgt.

1. Primärseite und Sekundärseite werden in einem definierten Abstand übereinandergelegt.
2. Es wird die Induktivität der Primärspule gemessen.
3. Es wird die Induktivität der Sekundärseite gemessen
4. Es wird die Induktivität an der Primärseite gemessen und gleichzeitig die Sekundärseite kurzgeschlossen
5. Auswertung der Messwerte (siehe Link)

Die gemessenen Materialien werden alle mit den Ferritsegmenten 210 der Fa. Tridelta verglichen (Material hat sich in der Vergangenheit bewährt). Der Kopplungsfaktor dieser Ferritsegmente (Ferritsegment 210 auf der Primärseite und Ferritsegment 210 auf der Sekundärseite) liegt bei 0,42.

Ergebnis:

Materialien mit einem Vergleichsfaktor größer 2 (siehe Link) sind nicht mehr so gut als Alternativmaterial geeignet. Allerdings könnten diese Materialien für einen Mischverbau mit Ferriten geeignet sein. Es muss in weiteren Tests geklärt werden in wie weit diese Materialien eingesetzt werden können.

2.8 Vergleichsmessung zerstörter Ferrite

Test 1

Ziel des Tests:

Es gilt herauszufinden, ob vergossene Ferrite, wenn sie brechen, einen schlechtere Vergleichsfaktor haben oder ob dieser gleich bleibt.

Testobjekte: - 12 vergossene Ferritstäbchen 55x15x3 (vergossen mit EP50)
 - Tridelta Ferritsegmente (4 x 210)

Durchführung:

Es wird eine Messung mit 12 ganzen/intakten Ferritstäbchen (55 x 15 x 3) durchgeführt um einen Anfangswert zu bekommen. In den nächsten Schritten wird mit Hilfe eines Schraubendrehers ein Ferritstäbchen nach dem anderen an einer Stelle zerbrochen. Nach jedem zerbrochenen Ferritstäbchen werden Vergleichsmessungen durchgeführt.

Ergebnis:

Es konnten weder bei den ganzen Ferriten noch bei den zerbrochenen Ferriten eine Änderung des Vergleichsfaktors festgestellt werden.

Test 2

Testobjekte: - 12 vergossene Ferritstäbchen 55x15x3 (vergossen mit EP50)
 - Tridelta Ferritsegmente (4 x 210)

Durchführung:

Die 12 Ferritstäbchen (55 x 15 x 3), die jeweils eine Bruchstelle haben werden mit Hilfe eines Hammers bearbeitet und weiter zerstört. Danach wird wieder eine Vergleichsmessung durchgeführt.

Ergebnis:

Es konnten wiederum keine Änderung des Vergleichsfaktor festgestellt werden.

Test 3

Testobjekte: - 12 vergossene Ferritstäbchen 55x15x3 (vergossen mit EP50)
- Tridelta Ferritsegmente (4 x 210)

Durchführung:

Die Sekundärseite mit den 12 Ferritstäbchen (55 x 15 x 3) wird soweit zerstört, dass sowohl die Ferrite als auch die Vergussmasse Risse/ Spalte von ca. 0,6 mm bekommt. Danach wird wieder eine Vergleichsmessung durchgeführt.

Ergebnis:

Je mehr Ferrite durchtrennt werden umso schlechter wird der Vergleichsfaktor. Der Vergleichsfaktor ist aber dennoch sehr gut im Vergleich mit den unzerstörten Ferriten und der Wert bleibt unter 2

Test 4

Testobjekte: - 12 vergossene Ferritstäbchen 55x15x3 (vergossen mit EP50)
- Tridelta Ferritsegmente (4 x 210)

Durchführung:

Die Sekundärseite mit den 12 Ferritstäbchen (55 x 15 x 3) wird soweit zerstört, dass sowohl die Ferrite als auch die Vergussmasse Risse/ Spalte von ca. 0,6 mm bekommt. Die Schnitte werden wahllos, kreuz und quer gesetzt. Danach wird wieder eine Vergleichsmessung durchgeführt.

Ergebnis:

Der Vergleichsfaktor ist geringfügig schlechter geworden im Vergleich zu den 12 zertrennten Ferriten aus Test 3.

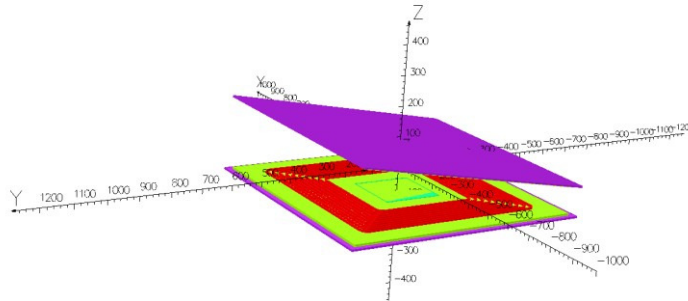
2.9 Simulation von 850 mm x 850 mm 3 kW Spulen mit Versatz

Es wurden verschiedene Relativpositionen von zwei 3 kW Spulen zueinander simuliert und deren Kopplungsfaktoren berechnet.

Alle Simulationen wurden bei offenem Sekundärkreis ($R_2 = 100 \text{ k}\Omega$) durchgeführt. Der Primärstrom betrug 13,5 A. Der Luftspalt zwischen den Kunststoffabdeckungen betrug – außer bei den Simulationen zum Luftspalt – 130 mm. Die Primärspule ist identisch zur Sekundärspule. Wo möglich wurden Symmetrien ausgenutzt.

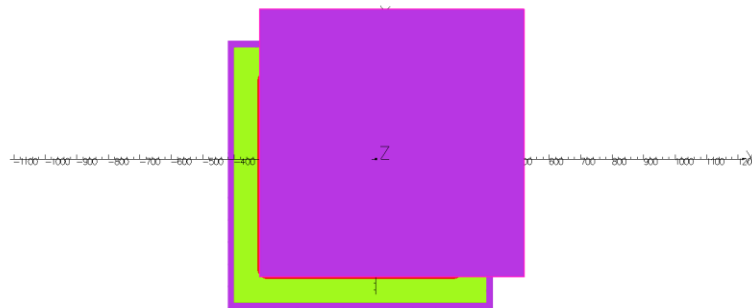
Anbei verschiedenen Szenarien, welche betrachtet wurden:

28/Ok4/2010 16:05:11



Opera

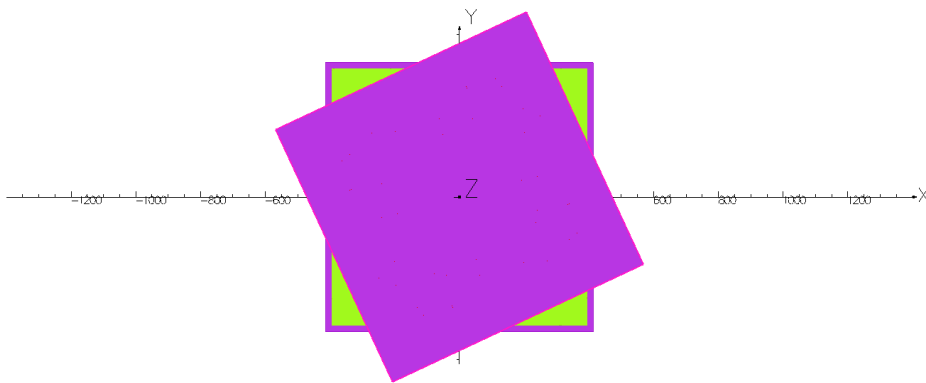
28/Ok4/2010 16:17:21



Opera

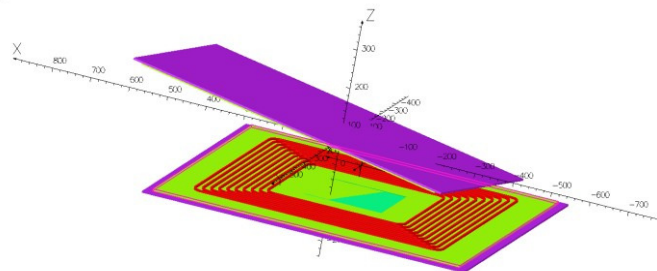
Abbildung 1: Spulen mit Schrägstellung und Versatz zueinander

28/Ok4/2010 16:10:08



Opera

28/Ok4/2010 16:22:14



Opera

Abbildung 2: Spulen mit Schrägstellung und zueinander verdreht

Schlussfolgerung:

Änderungen der Winkel beeinflussen den Kopplungsfaktor kaum. Deutlicher wirken sich ein Versatz in der XY-Ebene und eine Veränderung des Luftspalts aus.

2.10 Simulation und Optimierung 600 mm x 600 mm Spule 3,3 kW

Ein 600 mm x 600 mm Spulenaufbau wurde neu modelliert und anschließend optimiert. Die Spule wurde nicht auf einen möglichst guten Kopplungsfaktor, sondern auf k^2Q optimiert. Für die so gefundene Lösung wurden für verschiedene Fälle die Minima der Feldstärke gesucht. Mit diesen Ergebnissen wurde eine Grenzwertbetrachtung des magnetischen Felds durchgeführt.

In der Primärspule wird ein Strom vorgegeben und der entsprechende Strom der Sekundärspule entsprechend einer Leistungsübertragung von 3,3 kW berechnet. Abhängig von der Positionierung und des Spulentyps ergeben sich so unterschiedliche Ströme. Gemessen wird die Feldstärke auf der Abdeckung des Primärteils. Für vorgegebene Primärströme wird so das Minimum von B_{0max} gesucht. Die Schaltfrequenz beträgt 140 kHz.

Nachfolgend die Sekundärströme, sowie B_{0max} :

I _{pri}	Luftspalt 100mm		Luftspalt 135mm		Luftspalt 170mm	
	I _{sec}	B _{0max}	I _{sec}	B _{0max}	I _{sec}	B _{0max}
4A	20,13A	1,30E-03T	29,10A	1,30E-03T	40,82A	1,31E-03T
5,5A	14,64A	1,01E-03T	21,16A	1,00E-03T	29,69A	1,00E-03T
6A	13,42A	9,65E-04T	19,40A	9,51E-04T	27,22A	9,44E-04T
6,5A	12,39A	1,00E-03T	17,91A	9,90E-04T	25,12A	9,79E-04T
7A	11,51A	1,05E-03T	16,63A	1,04E-03T	23,33A	1,03E-03T
8A	10,07A	1,15E-03T	14,55A	1,14E-03T	20,41A	1,13E-03T
10A	8,05A	1,40E-03T	11,64A	1,38E-03T	16,33A	1,37E-03T

Tabelle 3: Sekundärströme und Magnetfeld

Die Spulenkonfiguration weist ein gutes Verhalten bezüglich der magnetischen Grenzwerte auf.

2.11 Simulation unterschiedlicher Abschirmungen

Bei einem 3 kW Spulensystem wurde der Einfluss verschiedener Abschirmungskonfigurationen auf das magnetische Feld untersucht.

In der Primärspule fließt ein Strom von 13.5 A, in der Sekundärspule fließen 27 A um 90° phasenverschoben. Die Spulen befinden sich exakt übereinander, der Luftspalt ist konstant.

Gemessen wird die Feldstärke 50mm oberhalb der Abschirmung des Sekundärteils. Als Abschirmung kommen 1800 mm x 1800 mm x 1,5 mm große Platten aus Alu oder Stahl zum Einsatz. Zusätzlich wird die Dicke des Aluträgers (violett) verändert (1 mm, 5 mm). Gemessen wird entlang der Strecken von P1(0mm/-1500mm) bis P2(0mm/1500mm) und von P3(250mm/-1500mm) bis P4(250mm/1500mm) 50 mm über der Abschirmung.

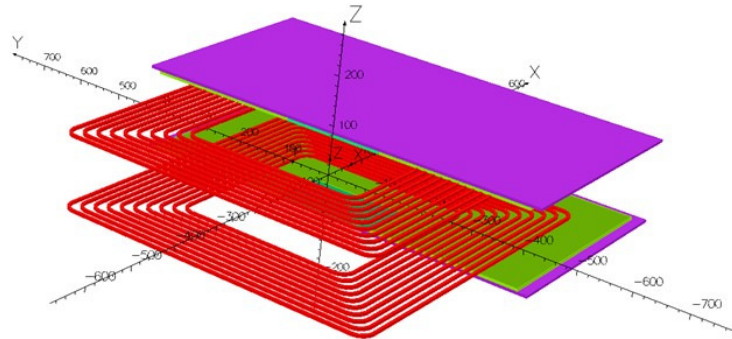


Abbildung 3: Simulationsmodell

Aluminiumabschirmung:

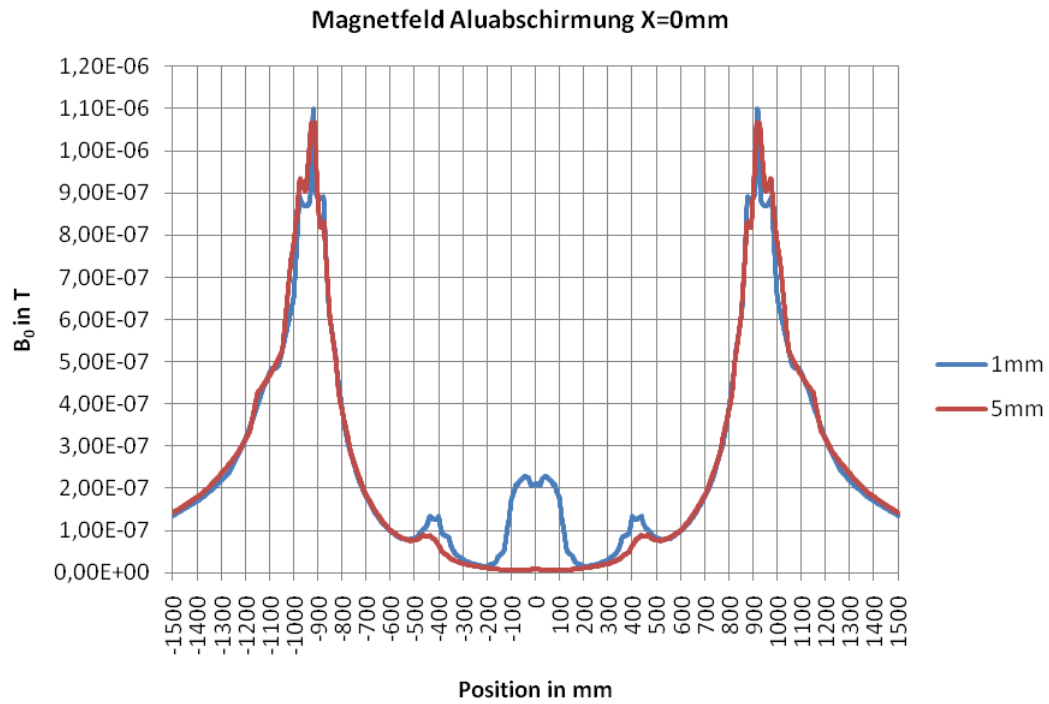


Abbildung 4: Magnetfeld mit Aluabschirmung x = 0mm

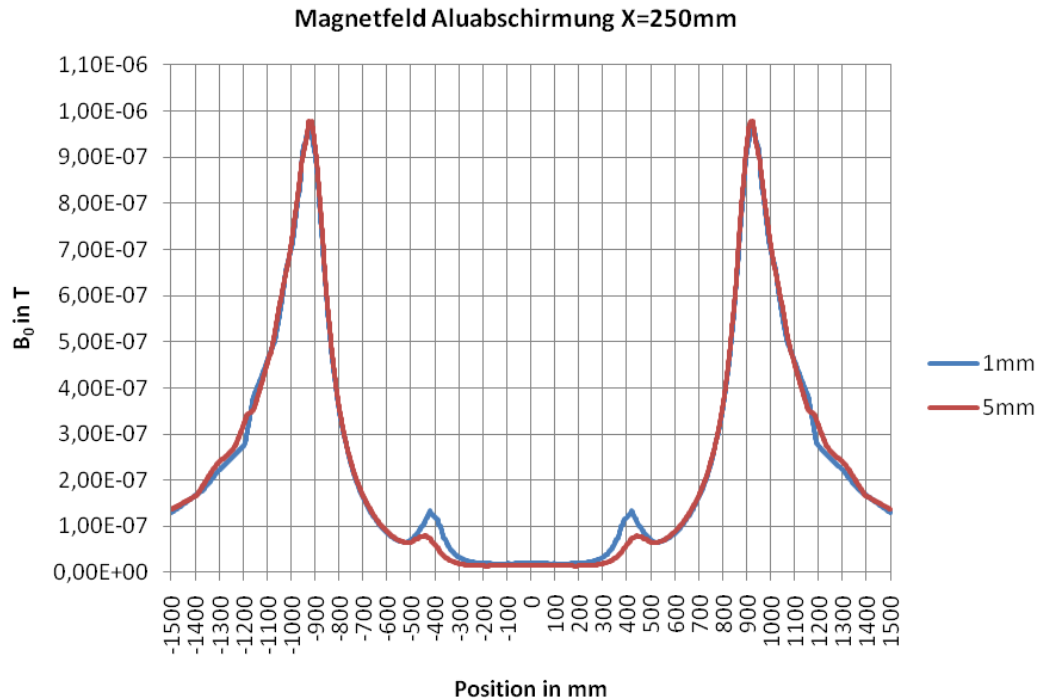


Abbildung 5: Magnetfeld mit Aluabschirmung x = 250 mm

Stahlabschirmung:

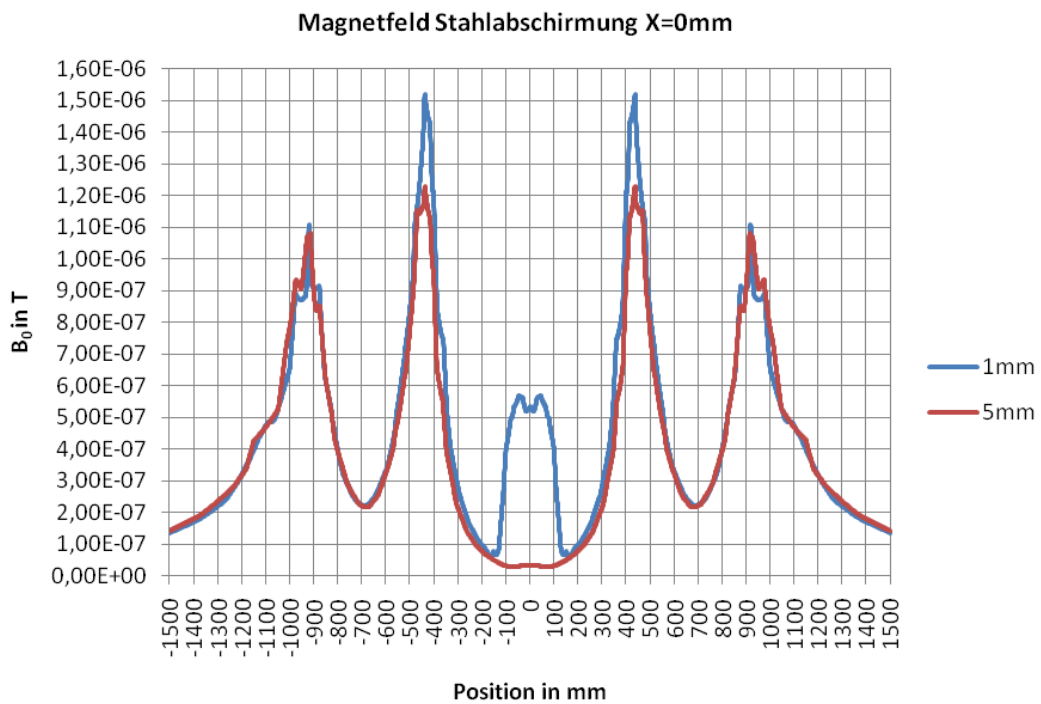


Abbildung 6: Magnetfeld mit Stahlabschirmung x = 0 mm

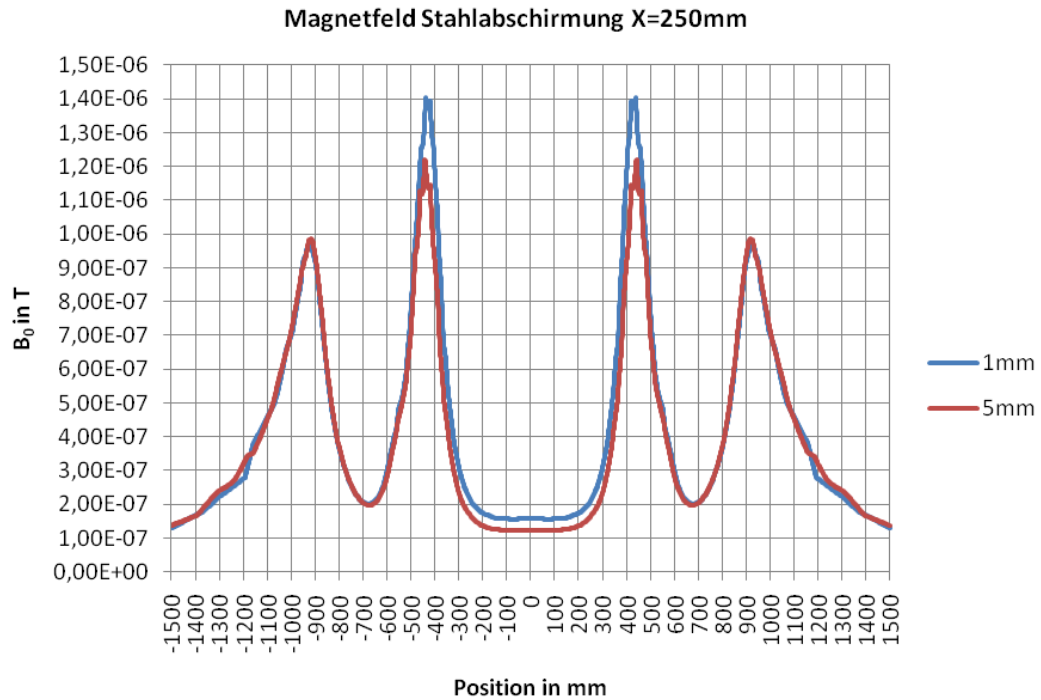


Abbildung 7: Magnetfeld mit Stahlabschirmung x = 250 mm

Ohne Abschirmung:

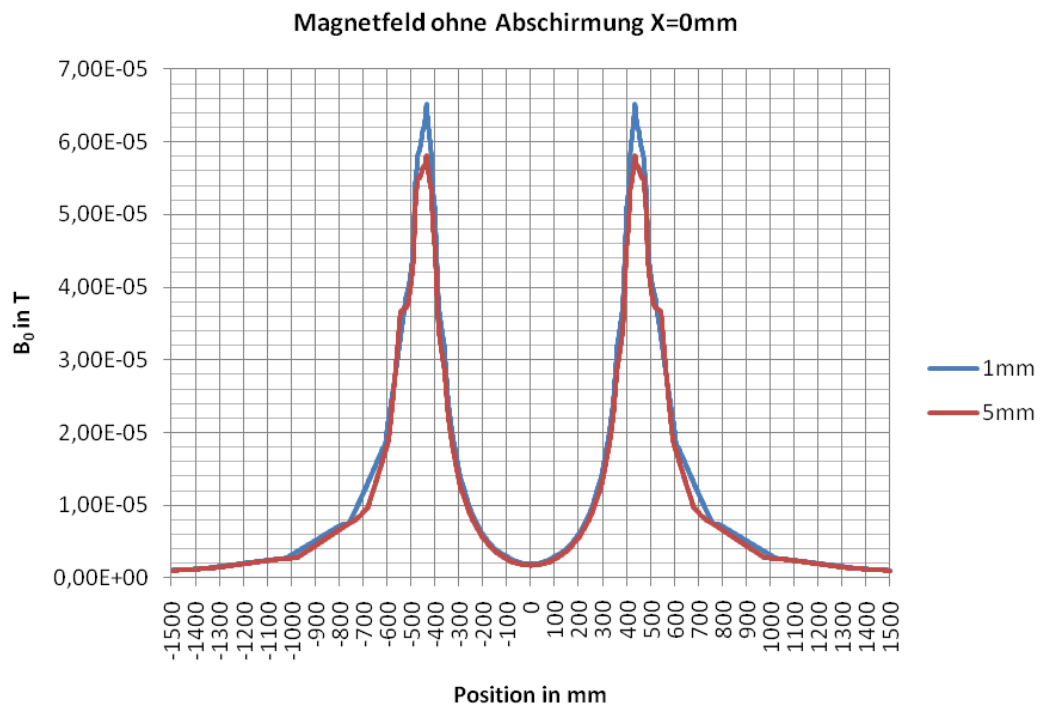


Abbildung 8: Magnetfeld ohne Abschirmung x = 0 mm

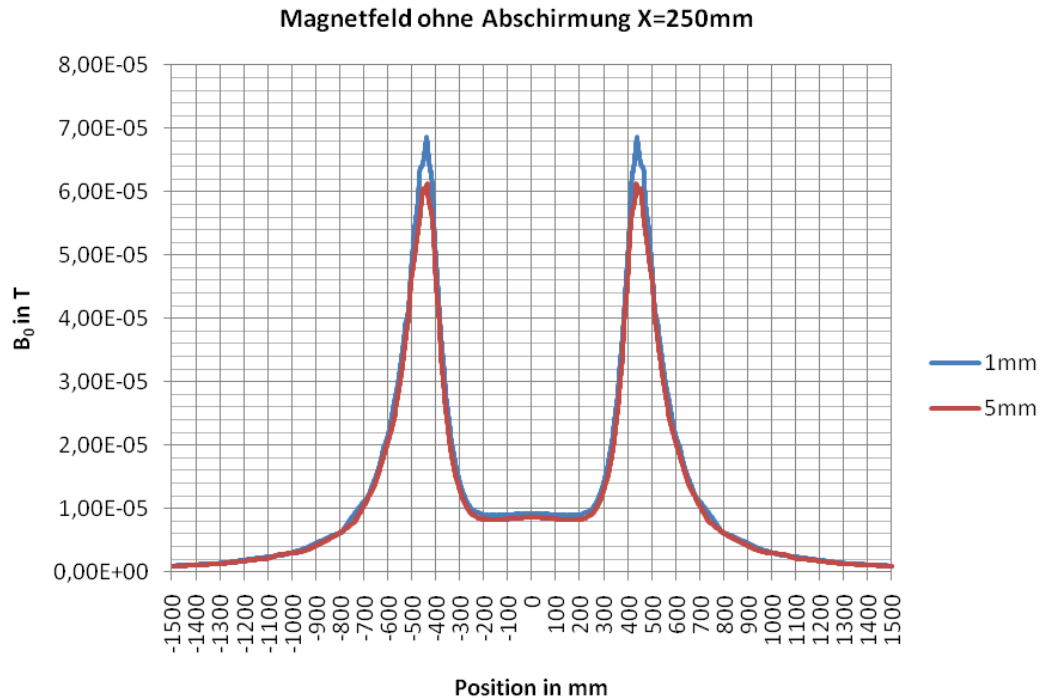


Abbildung 9: Magnetfeld ohne Abschirmung x = 250 mm

Schlussfolgerung:

Durch die Vergrößerung der Trägerdicke werden lokale und globale Maxima der magnetischen Feldstärke bei einer Abschirmung aus Stahl gut verkleinert. Mit einer Abschirmung aus Aluminium, bzw. ganz ohne Abschirmung hält sich dieser Effekt in Grenzen.

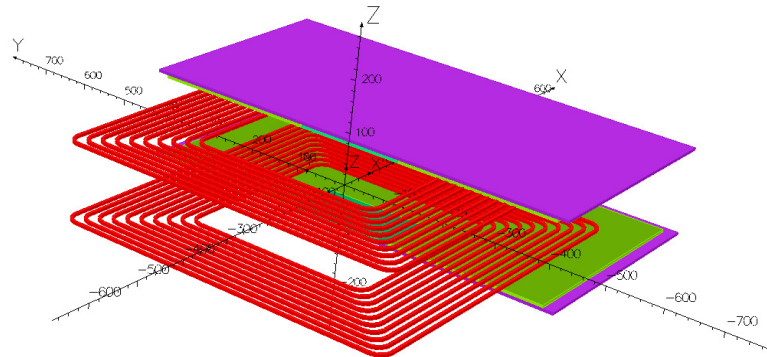
2.12 Einfluss der Ferritdicke auf das magnetische Feld bei 3 kW Spulen

Bei einem 3 kW Ladesystem wurde der Einfluss verschiedener Ferritdicken auf das magnetische Feld untersucht.

In der Primärspule fließt ein Strom von 13.5 A, in der Sekundärspule fließen 27 A um 90° phasenverschoben. Die Spulen befinden sich exakt übereinander, der Luftspalt ist konstant.

Gemessen wird die Feldstärke im Ferrit des Sekundärteils.

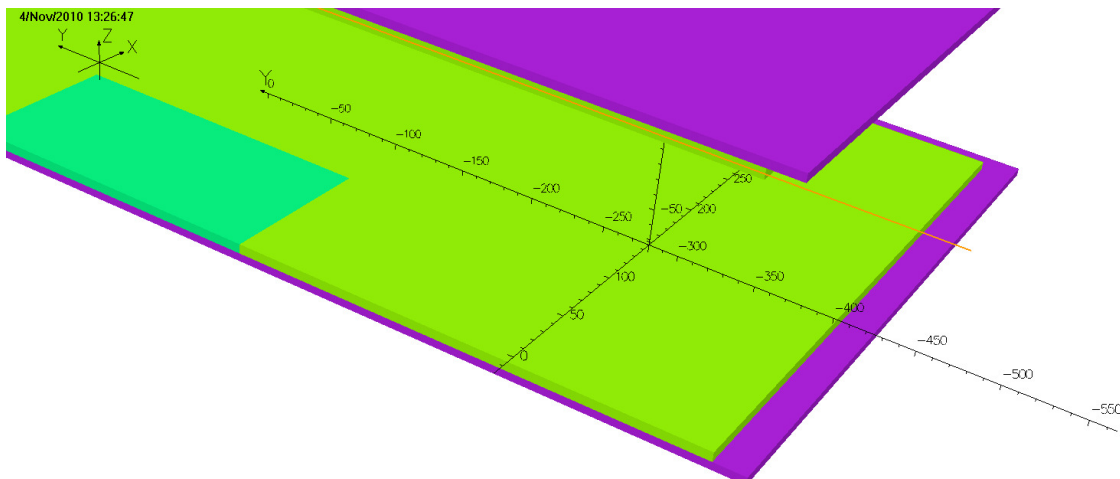
4/Nov/2010 13:13:59



Opera

Abbildung 10: 3D Ansicht halbes Modell

Gemessen wird entlang der Strecke von P1(250mm/-400mm) bis P2(250mm/400mm) mittig im Ferrit (hellgrün). In der Abbildung verläuft der Weg (orange) zur besseren Sichtbarkeit nicht konstant bei X=250mm sondern bei X=0mm.



Opera

Abbildung 11: 3D Ansicht mit Messstrecke (orange)

Schlussfolgerung:

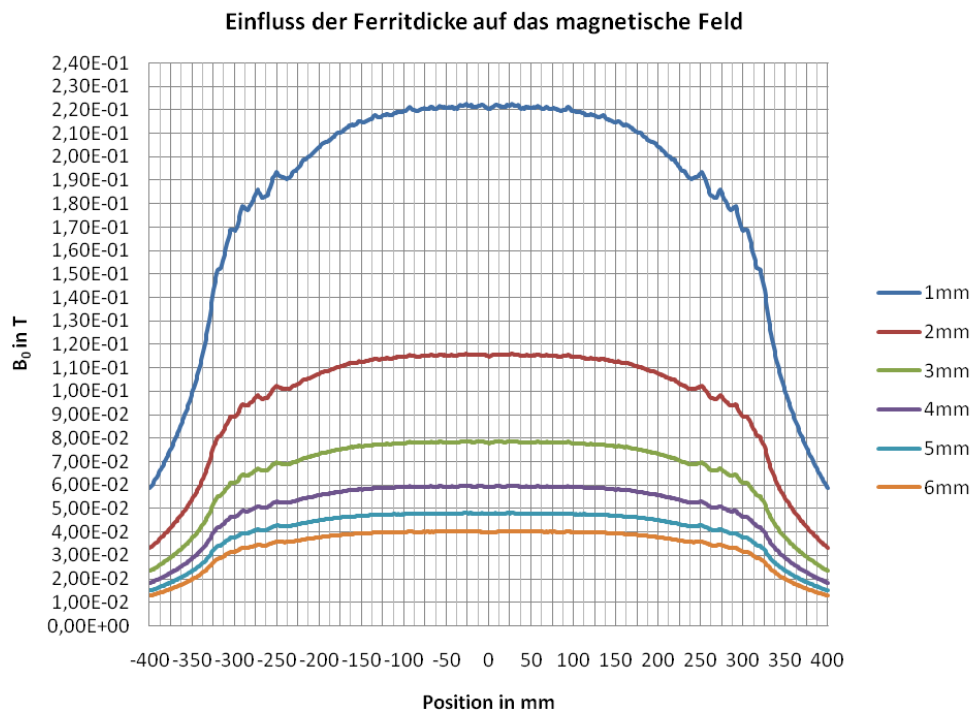


Abbildung 12: Einfluss der Ferritdicke auf das magnetische Feld

Wie erwartet resultiert eine geringere Ferritdicke in einem stärkeren Feld.

3 Materialforschung stationäre Seite

Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Die heute bekannten Lösungsansätze zur induktiven Energieübertragung sind auf Komponenten und Prinzipien aufgebaut die hohe Kosten zur Folge haben und großes Einbauvolumen zur Folge hätten.

Durch die Untersuchung alternativer Ansätze auf Basis neuer Materialien und Materialkombinationen sind hier deutlich effizientere Lösungsansätze zu erwarten. Allerdings sind hierzu umfangreiche Untersuchungen notwendig.

Grundlagenforschung bei Polymerbetonen und ähnlichen Materialien, die sich aufgrund ihrer Festigkeit, Beständigkeit und transmissiven Eigenschaften für ein bauseitiges Bodeneinbaumodul eignen

Ziel: Findung kosten-, gewichts-, volumen- und effizienzoptimierter Ansätze

Ergebnisse

Polymerbeton ist ein kunstharzgebundenen Mörtel oder Beton, welcher aus Gesteinskörnungen mit abgestufter Kornzusammensetzung besteht. Hinzu kommen flüssiger Reaktionsharz als Bindemittel und gegebenenfalls weitere Zusätze. Die Aushärtung erfolgt nach Zugabe von Reaktionsmitteln (Härter, Initiatoren) durch Polyaddition oder Polymerisation. Die Vorteile von kunstharzgebundenem Mörtel/Beton sind:

- Keine Nachbehandlung erforderlich
- Schnelles Aushärten
- hohe Früh- und Endfestigkeiten
- hohe Haftzugfestigkeit auf den meisten Untergründen
- hohe Schlagzähigkeit und Abriebbeständigkeit
- geringes Schrumpfen durch chemische Reaktion
- Witterungsbeständigkeit und chemische Widerstandsfähigkeit
- geringfügige Wasseraufnahme
- elektrische Isolation
- dekorative Gestaltungsmöglichkeiten

Ein wesentlicher Nachteil dieser Polymerbetone ist das unterschiedliche Längenänderungsverhalten im Verbund mit zementgebundenen Baustoffen. Ändert sich die Temperaturbeanspruchung treten erhebliche Spannungen in der Verbundzone auf, was zu Abplatzungen bzw. Ablösung führen kann. Dieses Verhalten bei hohen Temperaturen hängt wesentlich vom verwendeten Harz ab. Ein weiterer negativer Punkt sind die hohen volumenbezogenen Kosten. Sie betragen etwa das 5- bis 10-fache eines Zementbetons.

Allerdings gibt es auch einige Nachteile:

- Verarbeitung und Erhärtung ab 8°C möglich
- Mischfehler bei Verarbeitung nicht erkennbar
- Trockener Untergrund erforderlich
- Hohe thermische Längenänderung

4 Grundlagen Elektromagnetische Verträglichkeit

Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Zum einen sind hier die relevanten Anforderungen im Detail zu ermitteln. Insbesondere die fahrzeugrelevanten Anforderungen sind hier zu betrachten. Im Rahmen messtechnischer Auswertungen sind entsprechende Erkenntnisse zu gewinnen und in die Lösungsansätze einzuarbeiten.

Ziel: Erarbeitung eines Lösungsansatzes der die einschlägigen Anforderungen erfüllt. Außerdem soll frühzeitig eine geeignete Argumentationskette aufgebaut werden um die zu erwartenden Diskussionen zu versachlichen.

Ergebnisse

4.1 Messung magnetischer Feldstärke bei einem Spulenabstand von 130 mm

Aufgabe:

Messung der Feldstärke bei einem Spulengehäuseabstand von 130 mm an verschiedenen Punkten innerhalb und außerhalb des Spulenbereichs.

Durchführung:

Gemessen wurde die Feldstärke an verschiedenen Punkten innerhalb und außerhalb der Spulen. Die einzelnen Messungen wurden in einem Abstand von 2,5 bis 5 cm (horizontal) und 3,25 cm (vertikal) vorgenommen. Es wurde auch die Feldstärke direkt oberhalb und 300 mm oberhalb der oberen Spule gemessen. Die eingestellte Höhe wurde bei jeder Messung überprüft.

Der Primärstrom wurde am Track Supply auf 7,27 A eingestellt, der Sekundärstrom wurde ungefähr auf das Doppelte des Primärstroms eingestellt. Gemessen wurden die folgenden Werte:

$$I_{\text{prim}} = 7,27 \text{ A}$$

$$I_{\text{sek}} = 14,51 \text{ A}$$

$$\text{Phase} = 98^\circ - 99^\circ$$

Ergebnis:

Die Höhenangaben beziehen sich auf die Höhe des Mittelpunkts der Messkugel über der Oberfläche der Primärspule.

Für alle Grafiken gilt: Die x-Achse zeigt den Abstand zur Spulenummitte an. Die äußere Kante der Spulengehäuse liegt bei 420 mm. Die y-Achse stellt die Feldstärke in μT dar. Die senkrechten grünen Linien in der folgenden Grafik symbolisieren die Position der Spulen.

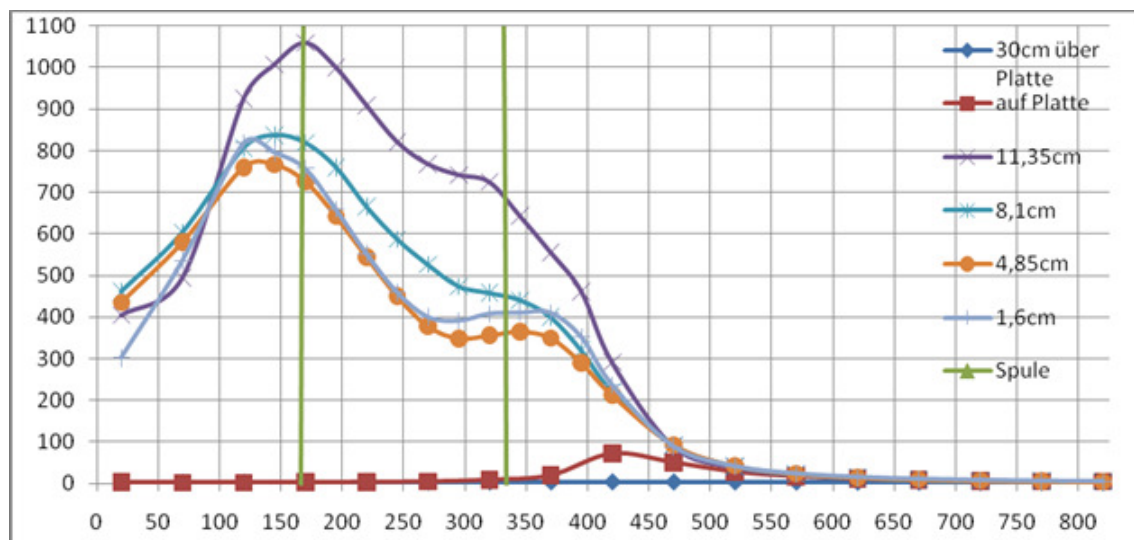


Abbildung 13: Feldstärke in μT vs. Abstand Spulenummitte

Die folgende Grafik ist in logarithmischer Darstellung, um die unteren Messwerte zu verdeutlichen. Zusätzlich ist noch eine Linie (hellgrün) bei $6,5 \mu\text{T}$ dargestellt, dies ist der offizielle Grenzwert.

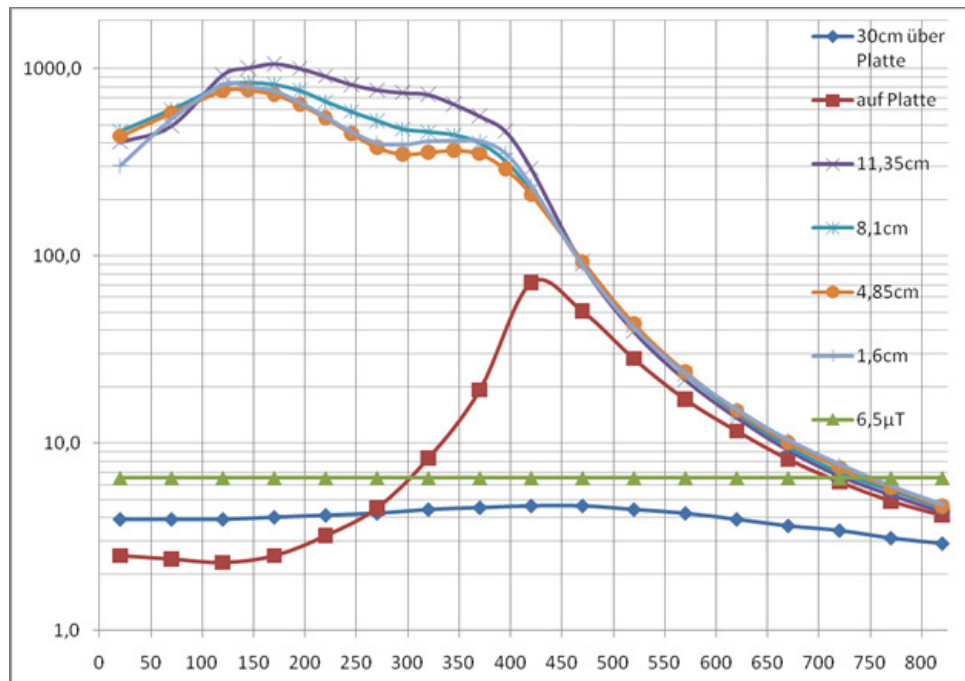


Abbildung 14: Feldstärke in μT vs. Abstand Spulenmitte

Schlussfolgerung:

In einem Abstand von 35 cm zur Außenkante (Spulenmitte + 420 mm) wird der Grenzwert von $6,5 \mu\text{T}$ in jeder Höhe unterschritten. Dies ist auch für 30 cm über der Sekundärspule der Fall.

4.2 Messung der Feldstärke bei einem Spulengehäuseabstand von 130 mm an verschiedenen Punkten innerhalb und außerhalb des Spulenbereichs

Durchführung:

Gemessen wurde die Feldstärke an verschiedenen Punkten innerhalb und außerhalb der Spulen. Die einzelnen Messungen wurden in einem Abstand von 2,5 bis 5 cm (horizontal) und 3,25 cm (vertikal) vorgenommen. Es wurde auch die Feldstärke direkt oberhalb und 300 mm oberhalb der oberen Spule gemessen.

Die eingestellte Höhe wurde bei jeder Messung überprüft.

Der Primärstrom wurde am TrackSupply auf 7,27 A eingestellt, der Sekundärstrom wurde ungefähr auf das Doppelte des Primärstroms eingestellt.

Vergleich Simulation/Messwerte:

Im Folgenden sind Vergleiche zwischen Simulations- und Messwerten dargestellt. Zu beachten ist, dass bei der Simulation alle 10 mm ein Wert erfasst wurde. Bei der Messreihe wurden alle 50 mm Werte erfasst, lediglich im Bereich von 120 mm bis 420 mm wurde im Abstand von 25 mm gemessen.

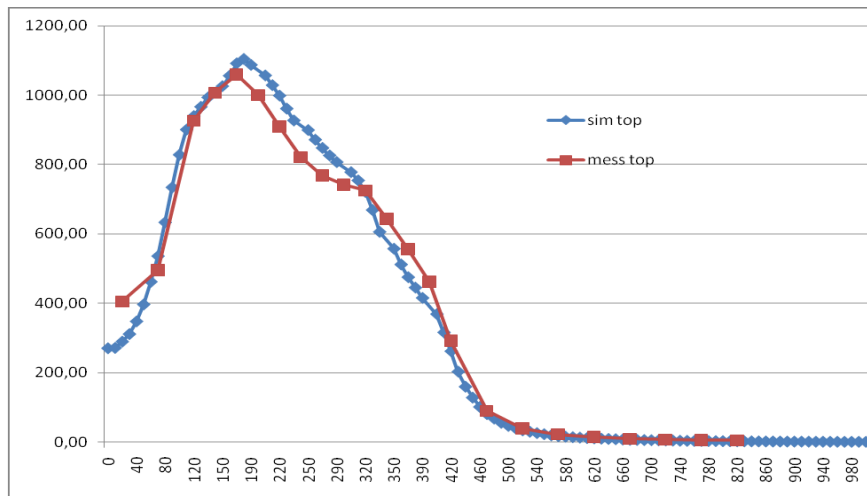


Abbildung 15: Vergleich Top (µT vs. mm)

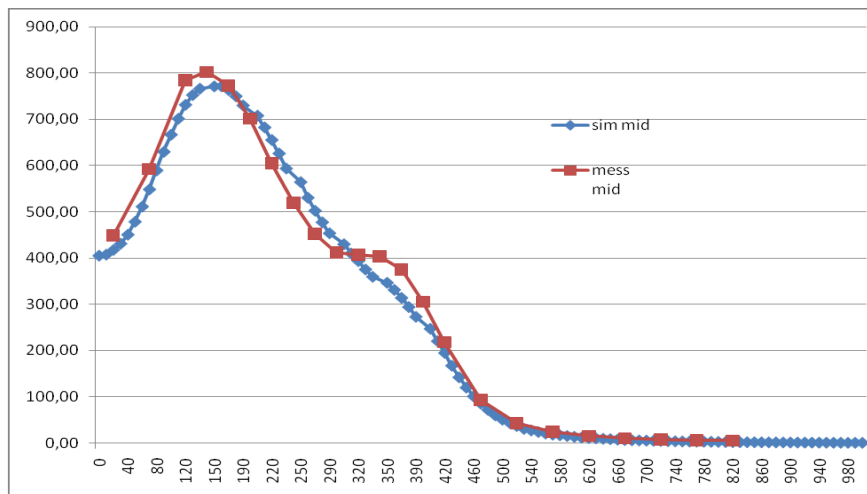


Abbildung 16: Vergleich Middle (µT vs. mm)

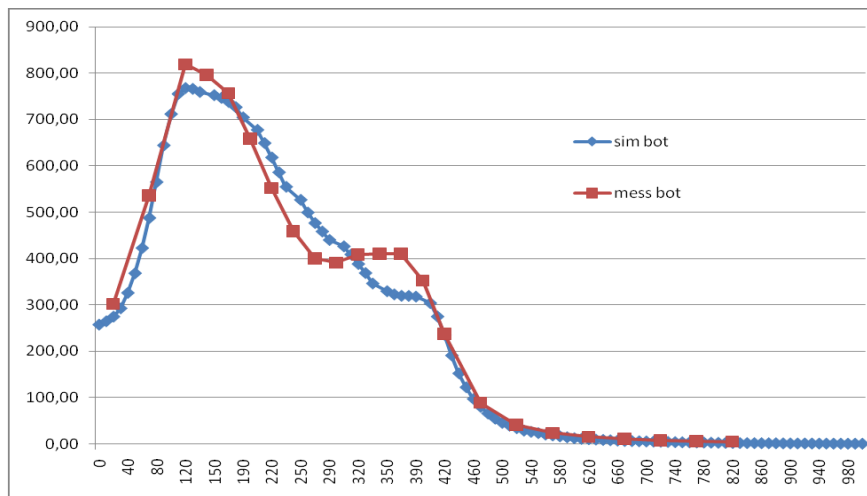


Abbildung 17: Vergleich Bottom (µT vs. mm)

Schlussfolgerung:

In einem Abstand von 35 cm zur Außenkante (Spulenmitte + 420 mm) wird der Grenzwert von $6,5 \mu\text{T}$ in jeder Höhe unterschritten. Dies ist auch für 30 cm über der Sekundärspule der Fall.

4.3 Feldstärkeverlauf bei Abschirmung mit einer Stahlplatte

Aufgabe:

Messung der Feldstärke bei einem Spulengehäuseabstand von 130 mm und aufliegender Stahlplatte (überlappend) an verschiedenen Punkten innerhalb und außerhalb des Spulenbereichs.

Durchführung:

Gemessen wurde die Feldstärke an verschiedenen Punkten innerhalb und außerhalb der Spulen. Die einzelnen Messungen wurden in einem Abstand von 25 mm vorgenommen. Es wurde auch die Feldstärke direkt oberhalb und 300 mm oberhalb der Stahlplatte (1450 mm x 1450 mm) gemessen. Die eingestellte Höhe wurde bei jeder Messung überprüft.

Ergebnis:

Die Werte der y-Achse sind in μT , die Werte der x-Achse in mm angegeben. Für die ersten zwei Grafiken gilt: „0“ auf der x-Achse entspricht dem Mittelpunkt der Spulen. Für die dritte Grafik gilt: Die Werte der x-Achse stellen den Abstand des Meßkopfmittelpunktes zur Außenkante der Stahlplatte dar.

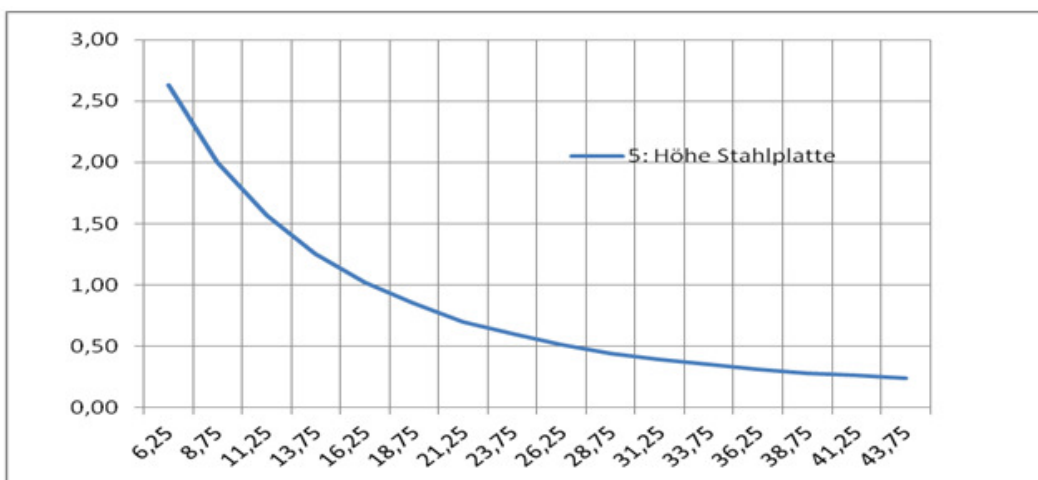
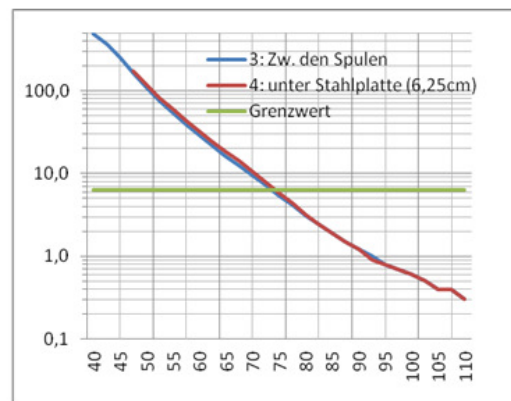
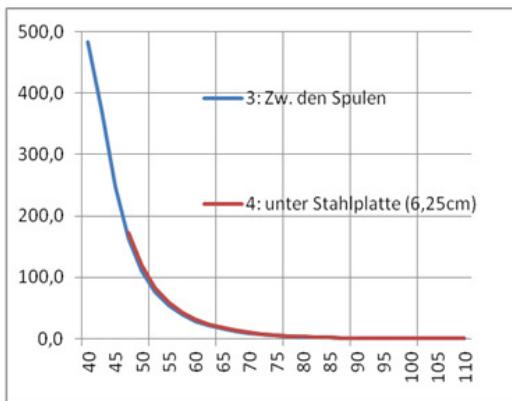
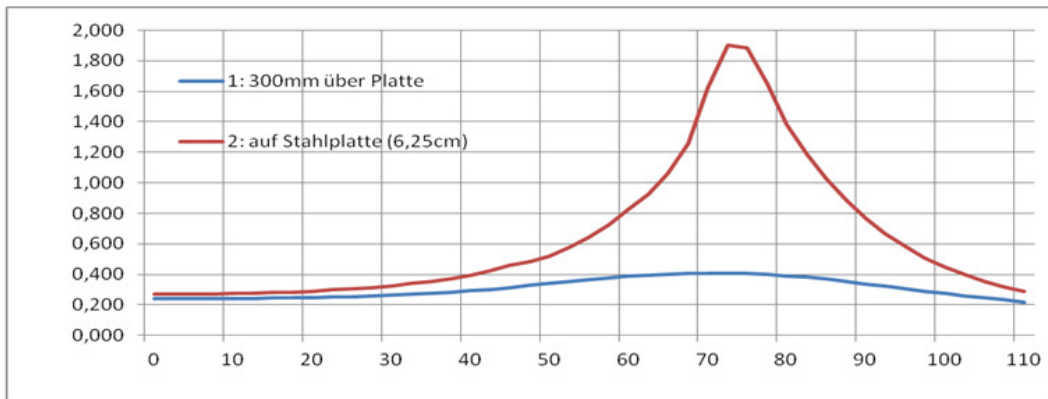


Abbildung 18: Messung der Feldstärke an unterschiedlichen Positionen

Die Außenkante der Stahlplatte befindet sich 725 mm vom Mittelpunkt der Spulen. Bei diesem Abstand kann man bei der Messung direkt auf der Stahlplatte (2) einen deutlichen Peak feststellen. Auch 300 mm oberhalb (1) ist noch ein leichter Anstieg in diesem Bereich festzustellen. Insgesamt liegt die Feldstärke oberhalb der Stahlplatte überall deutlich unter dem Grenzwert von 6,25 µT.

Deutlich höher sind die Messwerte unterhalb der Stahlplatte (3 und 4). Der Grenzwert wird erst bei einem Abstand von 750 mm unterschritten. Das bedeutet, dass sich 37,5 mm des Messkopfes unterhalb der Stahlplatte und 87,5 mm außerhalb der Stahlplatte befinden.

4.4 Messung Feldstärke 130 mm, großer Messkopf, Stahlplatte

Aufgabe:

Messung der Feldstärke bei einem Spulengehäuseabstand von 130 mm und aufliegender Stahlplatte (überlappend) an verschiedenen Punkten innerhalb und außerhalb des Spulenbereichs.

Gemessen wurde die Feldstärke an verschiedenen Punkten innerhalb und außerhalb der Spulen. Die einzelnen Messungen wurden in einem Abstand von 25 mm vorgenommen. Es wurde auch die Feldstärke direkt oberhalb und 300 mm oberhalb der Stahlplatte (1450 mm x 1450 mm) gemessen. Die eingestellte Höhe wurde bei jeder Messung überprüft.

Schlussfolgerung:

Die Außenkante der Stahlplatte befindet sich 725 mm vom Mittelpunkt der Spulen. Bei diesem Abstand kann man bei der Messung direkt auf der Stahlplatte einen deutlichen Peak feststellen. Auch 300 mm oberhalb ist noch ein leichter Anstieg in diesem Bereich festzustellen. Insgesamt liegt die Feldstärke oberhalb der Stahlplatte überall deutlich unter dem Grenzwert von 6,25 μT .

Deutlich höher sind die Messwerte unterhalb der Stahlplatte. Der Grenzwert wird erst bei einem Abstand von 750 mm unterschritten. Das bedeutet, dass sich 37,5 mm des Messkopfes unterhalb der Stahlplatte und 87,5 mm außerhalb der Stahlplatte befinden.

4.5 FEM Simulation: Vergleich der Streufelder für 600 mm Einzelspule mit einer 800 mm Einzelspule bei 40 kHz

Trotz des benötigten höheren Stromes bei einer 600 x 600 mm Spule, um die gleiche Leistung zu übertragen, ist die ICNIRP-Empfehlung von 6,25 μT weiter vom Spulensystem entfernt, als für eine 800 x 800 mm Spule.

Die Feldstärke auf der Oberfläche bei beiden Spulengrößen ist ähnlich, wenn die 600 x 600 mm Spule im Vergleich zur 800 x 800 mm Spule nur die halbe Leistung überträgt. Jedoch ist sie bei gleicher übertragbarer Leistung 28 % höher. Dies bringt eine um 65 % stärkere Temperaturerhöhung von ferromagnetischen Stoffen mit sich.

5 Erkennung von Gegenständen und Bewegungen

Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Beim Stichwort „Felder“ sind Vorbehalte seitens potentieller Anwender zu erwarten, dies kann zu einem Akzeptanzproblem führen. Deshalb sind hier frühzeitig mögliche zusätzliche Schutzmaßnahmen zu untersuchen, die über die Begrenzung

von Felddichten hinausgehen. Eine Reihe denkbarer Ansätze ist zu untersuchen und zu bewerten.

Ziel: Erarbeitung von Lösungsansätzen und Aufbau entsprechender Argumentationsketten

Ergebnisse

5.1 Messung Objekterwärmung

Aufgabe:

Messung der Erwärmung verschiedener Objekte zwischen Primär- und Sekundärspule.

Durchführung:

Die Temperaturerhöhung der oben abgebildeten Objekte wird über einen Zeitraum von 70 Minuten protokolliert. Die Objekte werden auf der Primärspule platziert. Abstand zwischen den Spulenkörpern: 130 mm (äußerer Rand). Abstand der Objektmitte zur Spulenmitte: 100 mm – 140 mm

Die Objekte werden so platziert, dass sich möglichst nah an den Positionen mit der größten Feldstärke befinden. Diese wurde zuvor in einer anderen Testreihe gemessen. Das Feld auf der Primärspule ist in einem Abstand von ca. 120 mm von der Mitte aus gemessen am stärksten. Die Objekte befinden sich auf einem Stück Pappe mit 5.5 mm Stärke.

Testobjekte:



Abbildung 19: Messobjekte

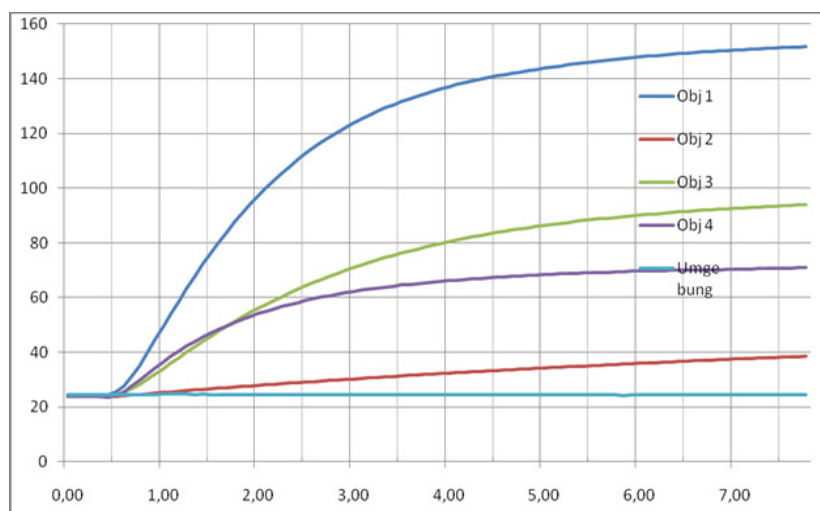


Abbildung 20: Messung Objekterwärmung

Schlussfolgerung:

Bestimmte Objekte können schon in relativ kurzer Zeit Temperaturen annehmen, welche außerhalb gängiger Normen liegen. Aus diesem Grund ist eine Objekterkennung von ferromagnetischen Materialien erforderlich.

5.2 Temperatur von Gegenständen auf einer stromdurchflossenen Spule

Aufgabe:

Temperaturmessung an Gegenständen in Abhängigkeit von Strom und Windungszahl einer Spule. Es ist zu untersuchen, wie sich verschiedene metallische Gegenstände auf einer stromdurchflossenen Spule verhalten bzw. erhitzen. Die Tests werden mit 5 mm, 10 mm und mit 20 mm Abstand und unterschiedlicher Flussdichte - 250 μ T, 500 μ T, 650 μ T, 1350 μ T – bei 40 kHz durchgeführt. Hierbei wurden folgende Gegenstände untersucht:

- Schlüssel
- Münze
- Stahldose stehend
- Stahldose liegend
- Stahldose zerdrückt
- Aludose zerdrückt
- Alufolie flach
- Alufolie zerknüllt

Ergebnis:

In den folgenden Grafiken werden die maximal erreichten Temperaturen in Abhängigkeit der Flussdichte und des Abstandes ausgewertet und dargestellt.

- Mittelwert Umgebung bei 20mm: 19,2°C
- Mittelwert Umgebung bei 10mm: 17,6°C
- Mittelwert Umgebung bei 5mm: 22,9°C

Maximaltemperatur in Abhängigkeit der Flussdichte 250 μ T

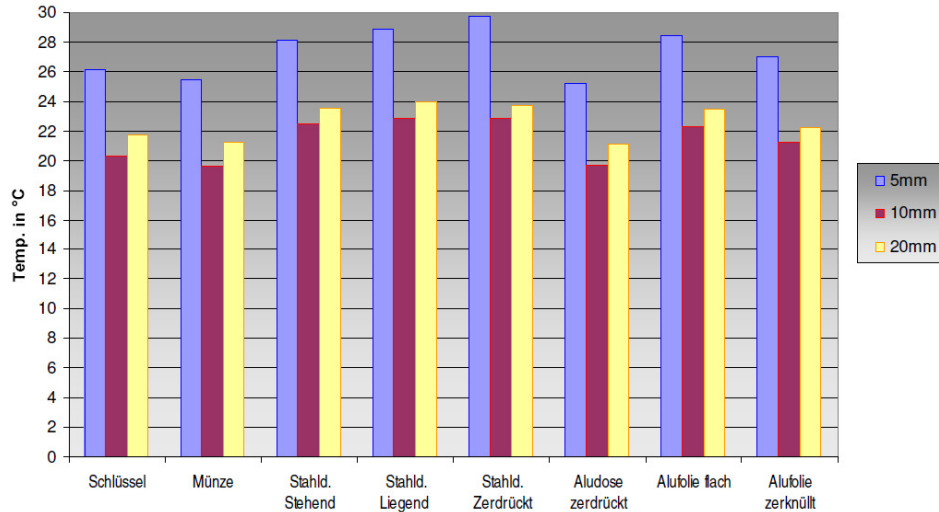


Abbildung 21: Thermisch eingeschwungener Zustand verschiedener Gegenstände bei 250 μ T

Maximaltemperatur in Abhängigkeit der Flussdichte 500 μ T

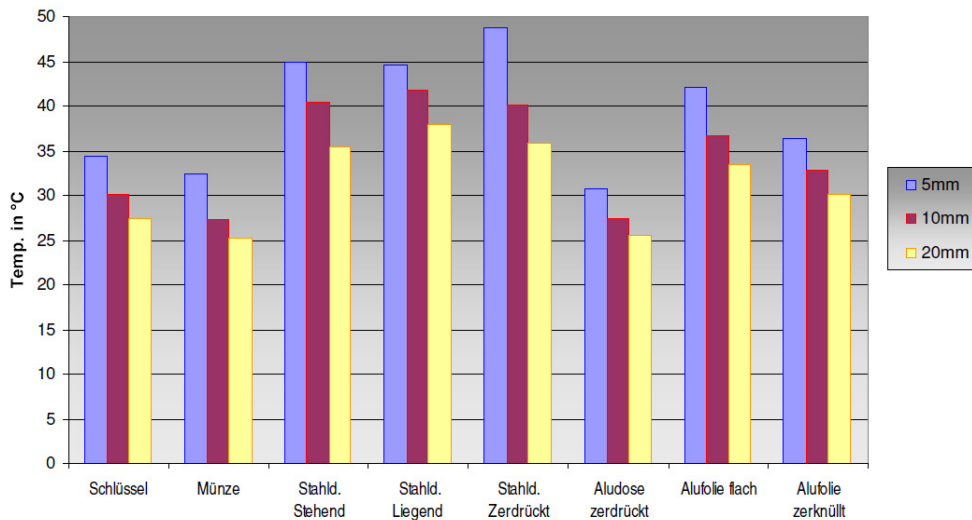


Abbildung 22: Thermisch eingeschwungener Zustand verschiedener Gegenstände bei 500 μ T

Maximaltemperatur in Abhängigkeit der Flussdichte 650 μ T (50At)



Abbildung 23: Thermisch eingeschwungener Zustand verschiedener Gegenstände bei 650 μ T

Maximaltemperatur in Abhängigkeit der Flussdichte 1350 μ T (100At)

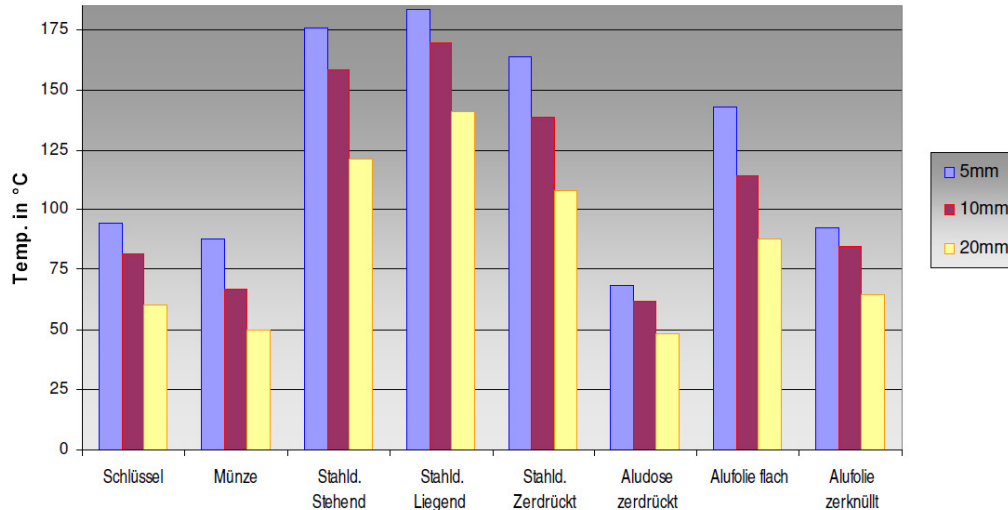


Abbildung 24: Thermisch eingeschwungener Zustand verschiedener Gegenstände bei 1350 μ T

Die Versuchsreihe hat gezeigt, dass bei steigender Stromstärke in der Spule, also auch steigender Flussdichte bzw. größerem Magnetfeld sich Gegenstände mehr erhitzen. Je kleiner der Abstand der Gegenstände zur Spule, desto heißer wiederum werden sie.

5.3 Temperatur am Prüfkörper bei unterschiedlichen Frequenzen

Aufgabe:

Klärung des Temperaturverhaltens von ferromagnetischen und paramagnetischen Materialien bei unterschiedlichen Frequenzen.

Durchführung:

Temperaturvergleich zur Bestimmung der Temperatur im thermisch eingeschwungenen Zustand verschiedener Gegenstände bei unterschiedlichen Frequenzen (40 kHz und 200 kHz) wie Aluminiumdose, Aluminiumplatte, Stahldose und Stahlbüchse bei gleicher magnetischer Flussdichte. Hierbei wurde die zu übertragende Leistung, welche proportional zu Strom und Frequenz ($P \sim f \cdot I^2$), nicht verändert, sondern nur die Frequenz und damit auch der Strom in der Primärwicklung.

Ergebnis:

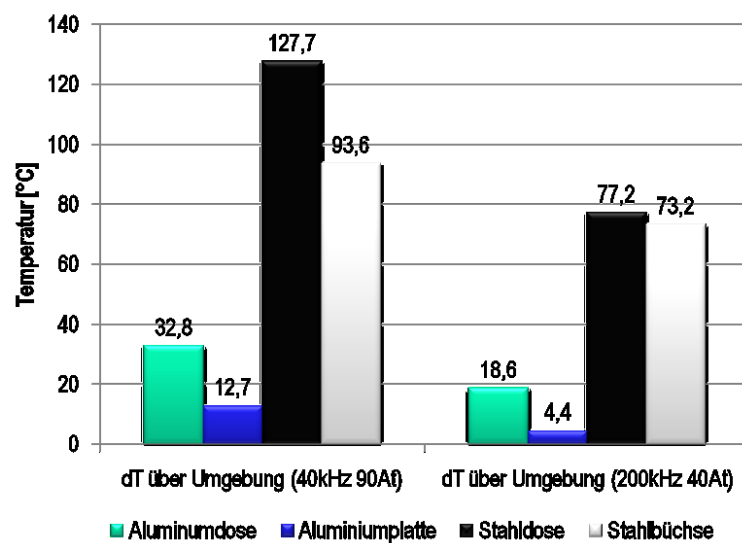


Abbildung 25: Vergleich Erwärmung bei unterschiedlichen Frequenzen

Die Messung zeigt, dass mit zunehmender Frequenz die Temperatur im Prüfkörper beim thermisch eingeschwungenen Zustand aufgrund der geringeren Durchflutung und somit der geringeren magnetischen Flussdichte abnimmt.

5.4 Temperatur am Prüfkörper bei unterschiedlichen magnetischen Flussdichten

Aufgabe:

Klärung des Temperaturverhaltens von ferromagnetischen und paramagnetischen Materialien bei unterschiedlichen magnetischen Flussdichten.

Durchführung:

Temperaturvergleich zur Bestimmung der Temperatur im thermisch eingeschwungenen Zustand verschiedener Gegenstände bei unterschiedlichen Primärströmen (27,7 At und 36,7 At) wie Aluminiumdose, Aluminiumplatte, Stahldose und Stahlbüchse bei einer Frequenz von 140 kHz. Hierbei wurde die zu übertragende Leistung, welche proportional zu Strom und Frequenz ($P \sim f \cdot I^2$), nicht verändert, sondern nur die Strom in der Primärspule.

Ergebnis:

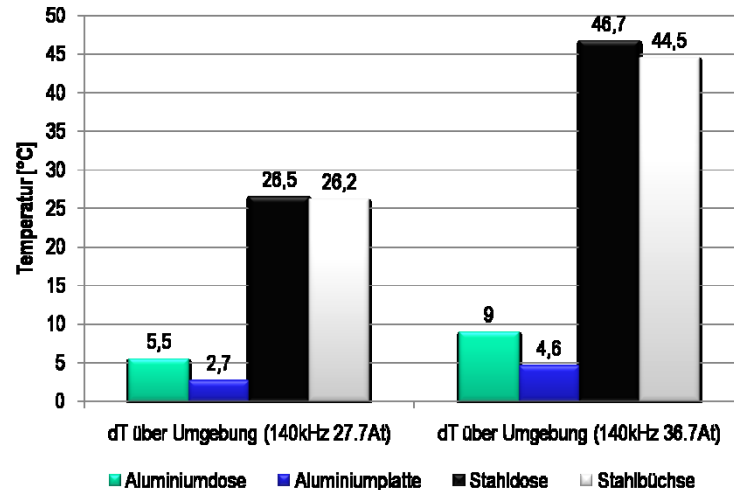


Abbildung 26: Vergleich Erwärmung bei unterschiedlichen magnetischen Flussdichten

Beim Erhöhen der magnetischen Flussdichte um einen Faktor x erhöht sich auch die Temperatur in einem Prüfkörper annähernd um den Faktor x^2 . Dies bedeutet hier, bei einer Erhöhung der magnetischen Flussdichte um $(4/3)$ erhöht sich die Temperatur um $(4/3)^2$, also beispielsweise von $26,5\text{ °C}$ auf $(4/3)^2 * 26,5\text{ °C} = 47,1\text{ °C}$. Dies befindet sich sehr nahe am gemessenen Wert von $46,7\text{ °C}$.

5.5 Messung Temperatur Objekterkennung – optisch IR (I)

Aufgabenstellung:

Erkennung von Gegenständen, die sich aufgrund des Magnetfeldes erwärmt haben, mit Hilfe eines IR.

Aufbau:

Die Temperaturen werden mit einem Kontaktmessgerät und den in diesem Projekt verwendeten Sensoren gemessen. Die beiden ausschlagenden Sensoren, in deren FOV (Field Of View) sich der Gegenstand befindet, werden dargestellt. Als Testobjekt dient eine zerdrückte Dose.

Im ersten Teil des Versuchs wird die mit IR-Lack besprühte Seite der Dose nach oben gelegt, im zweiten Teil des Versuchs wird die Dose umgedreht, so dass die unlackierte Seite oben liegt.

Ergebnis:

Die Untersuchung zeigt, dass die MLX-Sensoren bei beiden Versuchen eine Temperaturerhöhung detektieren. Festzustellen ist allerdings, dass die Referenzkurve im zweiten Versuch eine deutlich niedrigere Temperatur anzeigt. Dies liegt vermutlich daran, dass im ersten Versuch der Kontaktsensor unter der Dose platziert ist und sich somit ein Hitzestau gebildet hat. Im zweiten Versuch befindet sich der Fühler auf der Dose. Möglich ist auch, dass sich die Temperaturen aufgrund der unterschiedlichen Feldstärke ober- und unterhalb der Dose unterscheiden oder aber die Positionierung nicht 100%ig übereinstimmt.

Zu erwähnen ist ferner, dass sich die Gehäuse der Sensoren auf 30°C – 40°C erwärmt haben. Da der gültige Temperaturbereich allerdings bis 85°C reicht, ist dies nicht kritisch.

Schlussfolgerung:

Da die Sensoren die Temperatur in ihrem FOV mitteln, liegt es nahe, dass die gemessenen Temperaturen von den realen sehr stark abweichen. Das Objekt müsste den gesamten FOV ausfüllen, um ein korrektes Ergebnis zeigen zu können.

Trotzdem kann festgehalten werden, dass eine Temperaturdifferenz von 4-10°C detektiert wurde und eine Erkennung somit grundsätzlich möglich ist.

5.6 Messung Temperatur Objekterkennung – optisch IR (II)

Aufgabe:

Funktionstest der Erkennungssensoren. Feststellen der Temperaturdifferenz und Vergleich mit Referenzmessgerät.

Durchführung:

Die Temperaturen werden mit einem Kontaktmessgerät (in den Grafiken grün dargestellt) und den in diesem Projekt verwendeten Sensoren gemessen. Die beiden ausschlagenden Sensoren, in deren FOV (Field Of View) sich der Gegenstand befindet, werden dargestellt.

Im ersten Teil des Versuchs wird die mit IR-Lack besprühte Seite der Dose nach oben gelegt, im zweiten Teil des Versuchs wird die Dose umgedreht, so dass die unlackierte Seite oben liegt.

Schlussfolgerung:

Da die Sensoren die Temperatur in ihrem FOV (Field of View) mitteln, liegt es nahe, dass die gemessenen Temperaturen von den realen sehr stark abweichen. Das Objekt müsste den gesamten FOV ausfüllen, um ein korrektes Ergebnis zeigen zu können.

Trotzdem kann festgehalten werden, dass eine Temperaturdifferenz von 4-10°C detektiert wurde und eine Erkennung somit grundsätzlich möglich ist.

Ein optischer Ansatz ist allerdings generell problematisch, da mechanische Lösungen gefunden werden müssen, um eine Verschmutzung der Optik zu verhindern.

5.7 Erkennung von sich erwärmenden Objekten mit einem Bewegungsmelder

Aufgabe:

Das Erkennen von Bewegung funktioniert über PIR-Sensoren in dem Bewegungsmelder. Sobald ein Objekt sich von einem Sichtbereich eines PIR-Sensors in den nächsten bewegt und eine Temperaturdifferenz des Objekts von >4 °C zum Hintergrund besteht, wird eine Bewegung detektiert.

Getestet werden soll, ob sich erwärmende unbewegte Gegenstände ebenfalls erkannt werden.

Es wird der folgende Bewegungsmelder getestet:

Versuch:

Getestet wird in einer Box. Der Sensor wird so angebracht, dass er einen Großteil der Box „überblicken“ kann. Ein noch kalter LötKolben wird in die Box gestellt. Anschließend wird der LötKolben eingeschaltet (Temp. max. 450°C). Der Bewegungsmelder schlägt bei einer Erhöhung der LötKolbentemperatur nicht an.

Sonstige Beobachtungen: Der Bewegungsmelder reagiert ansonsten schon bei kleinen Bewegungen von Objekten mit etwas höherer Temperatur als Umgebung (ca. 4°C Differenz laut Datenblatt)

Bewegungsmelder reagiert nicht bei zu kleinen Temperaturunterschieden (Vorteil: Blätter etc. werden nicht erkannt). Bewegung über Fläche mit homogener Temperaturverteilung. Erwärmung eines unbewegten Objekts innerhalb des FOV (Field Of View).

5.8 Erkennung von erwärmten Objekten mit einer Webcam

Versuch:

Nach dem Umbau einer Webcam, damit sie für diesen Versuch verwendet werden kann, werden verschiedene Gegenstände ins Bild gehalten. Das gesamte Bild erscheint in Graustufen. Eine IR-LED (950 nm) leuchtet strahlend weiß, die Flamme eines Feuerzeugs ebenfalls.

Getestet wird, ob die IR-Strahlung von erwärmten Gegenständen ausreicht, um einen deutlichen Kontrast zum nicht erwärmten Hintergrund zu erreichen.

Hierzu wird ein LötKolben verwendet. Die Temperatur wird auf den Maximalwert (450 °C) eingestellt, um eine generelle Machbarkeit zu prüfen. Das „Testsystem“ wird in einen Karton gestellt, sodass IR-Strahlung von außerhalb möglichst klein wird. Allerdings bleibt der LötKolben dunkel.

Trotzdem ist die umgebaute Kamera geeignet, um Gegenstände in der Dunkelheit zu erkennen. Hierzu sind allerdings IR-LEDs notwendig, die den Gegenstand bestrahlen. Hierzu diente ein Test in einem dunklen Karton. Die verwendeten IR-LEDs sind nur bedingt für diesen Zweck geeignet, da sie in einem sehr kleinen Winkel strahlen. LEDs mit großem Abstrahlwinkel wären sinnvoller.

Bei dieser Methode werden nun alle Gegenstände erkannt, allerdings auch irrelevante Gegenstände wie Laub.

Erläuterung:

Das Wiensche Verschiebungsgesetz gibt das Maximum der spezifischen spektralen Ausstrahlung schwarzer Körper in Abhängigkeit der Temperatur an.

$$\lambda_{max} = \frac{2897,8\mu m K}{T} \quad \rightarrow \quad T = \frac{2897,8\mu m K}{\lambda_{max}}$$

Nach dieser Formel ergibt sich, dass das Maximum der Ausstrahlung bei einer für eine Webcam sichtbaren Wellenlänge (bis ca. 1050 nm) bei ungefähr 2760 K liegt. Weniger warme Objekte strahlen also mit einer deutlich geringeren Energie. Da mit dem Wienschen Verschiebungsgesetz nur Maxima bestimmt werden können, wird zur Verdeutlichung der Problematik das Plancksche Strahlungsspektrum verwendet.

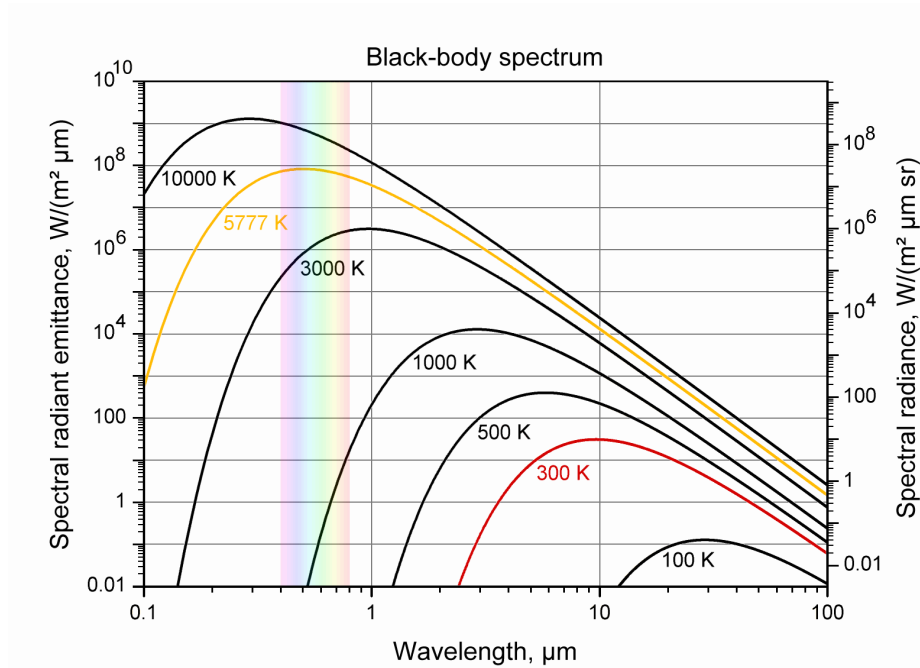


Abbildung 27: Plancksche Strahlungsspektrum

Selbst die spezifische abgestrahlte Energie eines Schwarzen Körpers mit 500 K wäre nur knapp ausreichend, um von einer Webcam dargestellt zu werden (Beachte: Log-Darstellung). Da in diesem Fall Objekte mit Temperaturen um 350 K – 400 K erkannt werden sollen, ist dies mit einer herkömmlichen Webcam nicht möglich.

5.9 Erkennung von Gegenständen auf Basis induktiver Ansätze

Aufgabe

In einem sich zeitlich ändernden Magnetfeld werden in elektrisch leitfähigen Materialien Wirbelströme erzeugt. Durch den elektrischen Widerstand der Materialien und den induzierten Wirbelströmen kommt es zur Erwärmung der Materialien. Daher wurden verschiedene Prüfkörper hinsichtlich der Erwärmung im Magnetfeld untersucht.

Die hierbei zu betrachtenden Objekte sind nachfolgend dargestellt.



Abbildung 28: Testobjekte

Ergebnis:

Durch das zwischen den Spulen herrschende inhomogene Magnetfeld wurden zunächst vier Punkte auf der Spulenoberfläche definiert an denen die Verlustleistung in den Messobjekten berechnet und die Temperaturerhöhung gemessen wurde.

Aufgrund der starken Temperaturerhöhung der Prüfobjekte zwischen den Spulen müssen diese zwingend erkannt werden.

Bei der Erkennung von metallischen Gegenständen zwischen Primär- und Sekundärspule können prinzipiell verschiedene Sensorsysteme zum Einsatz kommen. Im Folgenden sind unterschiedliche Verfahren mit den Vor- und Nachteilen aufgelistet.

Optisch:

- muss im Fahrzeug integriert werden
- mehrere Sensoren im Randbereich der Spule erforderlich
- kostenintensiv
- verschmutzungsanfällig
- Funktionalität im elektromagnetischen Feld fraglich (EMV)

Thermisch:

- ebenfalls mehrere Sensoren erforderlich
- preisgünstige Sensorik – kleine Objekte nicht erkennbar
- Wärmebildkamera – kostenintensiv
- Funktionalität im elektromagnetischen Feld fraglich (EMV)

Akustisch:

- muss im Fahrzeug integriert werden

- mehrere Sensoren im Randbereich der Spule erforderlich
- kleine Objekte problematisch
- Funktionalität im elektromagnetischen Feld fraglich (EMV)

Kapazitiv:

- leitfähiges Material in Spulennähe – Wirbelströme und Erwärmung
- kleine Objekte problematisch
- Abgleich des Systems erforderlich
- Störempfindlichkeit nimmt mit der Größe des Systems zu
- Funktionalität im elektromagnetischen Feld fraglich (EMV)
- verschmutzungsanfällig

Induktiv:

- Primärspule als Sensor: Änderung im Primärstrom und Phasenwinkel als Indikator
- bei kleinen Objekten kurzzeitige Abschaltung der Energieübertragung erforderlich
- Zeitraster wird vom Aufwärm- und Abkühlverhalten der jeweiligen Objekte bestimmt
- weitere Möglichkeit zusätzliche Spule (MHz): Änderung im Strom und Phasenwinkel - induktive Näherungsschalter

Induktiver Ansatz:

Mit Hilfe des Primärstroms, der Phasenwinkel zwischen Primärstrom und -spannung und die Ausgangsspannung in Abhängigkeit von der Position, ist es möglich metallische Fremdkörper zu detektieren.

Durch das von den Wirbelströmen erzeugte Magnetfeld, welches gemäß der Lenzschen Regel der Änderung des erzeugenden Feldes entgegen wirkt kommt es zur Beeinflussung der elektrischen Größen des Übertragungssystems. Bei großen Prüfkörpern ist dies sehr deutlich zu sehen. Diese Objekte können daher sehr einfach detektiert werden. Bei den kleinen Objekten ändern sich die elektrischen Parameter nur sehr gering, daher muss ein zusätzliches Erkennungssystem integriert werden.

5.10 Induktiver Erkennung von Objekten

Bei diesen Versuchen soll ausgenutzt werden, dass sich die messbare AC-Spannung an auf der Primärspule liegenden Spulen ändert, sobald ein magnetisierbarer Gegenstand in das Feld über diesen Messspulen eingebracht wird.

Als Testobjekt dient ein Stück Alufolie mit den Maßen 200 mm x 100 mm. Ein genormtes Testobjekt muss noch definiert werden.

Die Messungen werden an den herausgeführten Drähten mit einem Multimeter vorgenommen. An einigen Stellen sind mehrere Messwerte angegeben. Dort wurde an unterschiedlich positionierten Messspulen gemessen. Je nach Position der Spule kommen, in Abhängigkeit von der dortigen Feldstärke, unterschiedliche Werte zustande.

Schlussfolgerung:

Die 8 Spulen im inneren Kreis ergeben zusammen jeweils eine Spannung von 0,4V-0,6V. Wird Alufolie aufgelegt, steigt die Spannung um 0,6V-1V an. An manchen Positionen sinkt die Spannung jedoch ab – hier müssen einzelne Spulen noch korrigiert werden.

Dieser Aufbau ist gegen Verschiebung in x- oder y-Richtung um jeweils ca. 16-23cm empfindlich. Hier steigt die Spannung auf ca. 2V-3V an. Das Aufbringen eines Gegenstandes löst aber immer noch eine Spannungserhöhung von ca. 0,6V-1V aus. Die Ursache liegt wahrscheinlich in der Dimensionierung der Spulen. Der Radius des inneren Kreises beträgt ca. 20cm. Dies ist auch das Maximum der Abweichung.

In anderen Positionen bleibt die gemessene Spannung auf einem sehr niedrigen Level und schwankt kaum. Vor allem eine diagonale Verschiebung ist unproblematisch.

5.11 Induktive Erkennung von Objekten (Trafo)

Anstatt Veränderungen im Energie übertragenden Feld zu messen, werden bei diesem Ansatz neue Felder erzeugt. Ein aufliegender Gegenstand ändert das Feld und somit die übertragene Energie. Dies sollte messbar sein. Die Frequenz muss hierzu deutlich höher sein. Die Spulen werden mit Kondensatoren auf eine Frequenz nahe 1 MHz getuned, die Frequenzen werden mit einem Frequenzgenerator erzeugt.

Schlussfolgerung:

Die Trafospulen müssen weiter optimiert werden. Im nächsten Schritt sollten die Maße verringert werden, um auch kleinere Gegenstände detektieren zu können.

Es wurden noch keine Tests zwischen den „Energiespulen“ durchgeführt, um den Frequenzgenerator nicht zu beschädigen.

6 Grundlagen Schutz gegen aktive Einwirkungen von außen

Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Beim breiten Einsatz induktiver Übertragungslösungen, insbesondere im öffentlichen Bereich, sind aktive Einwirkungen von außen („Strom anzapfen“, Störung des Ladevorgangs, Vandalismus, etc.) zu erwarten. Deshalb sind hier frühzeitig mögliche zusätzliche Schutzmaßnahmen zu untersuchen. Eine Reihe denkbarer Ansätze ist zu untersuchen und zu bewerten.

Ziel: Erarbeitung entsprechender Lösungen und frühzeitige Berücksichtigung in anderen Arbeitspaketen

Ergebnisse

Die hier untersuchte kontaktlose Energieübertragung dient zum kontaktlosen Aufladen der Energiespeicher von PKWs in Parkposition sowohl im wettergeschützten wie auch im nicht wettergeschützten Bereich. Zur bestimmungsgemäßen Verwendung gehört auch die Einhaltung aller Angaben, welche bei einem solchen System maßgeblich sind. Jede über die bestimmungsgemäße Verwendung hinausgehende oder andersartige Benutzung gilt als Fehlgebrauch.

Fehlgebrauch des kontaklosen Ladens kann zu gefährlichen Situationen führen. Solche sind beispielsweise

- Garage mit installiertem kontaktlosen Laden nicht als Lagerraum, Hobbywerkstatt, Partyraum usw. benutzen.
- Keine Werkstattarbeiten (z. B. Bohren, Schweißen) über der Primärspule durchführen.
- Primärspule ausschließlich zum Laden des Fahrzeugs benutzen.
- System nicht mit anderen Netzspannungen/Frequenzen betreiben als vorgegeben
- Niemals Energieübertragung zwischen den Spulen zur Erwärmung von Gegenständen benutzen.
- Niemals Komponenten öffnen oder Änderungen an diesen vornehmen.
- Nur kompatible Fahrzeuge aufladen.
- System nicht in explosionsgefährdeten Bereichen betreiben.

Je nach auftretendem Fehlgebrauch können entsprechende Sensoren, z.B. Laserscanner, Bewegungsmelder, etc, oder das Überwachen der physikalischen Eigenschaften des kontaktlosen Ladesystems verwendet werden, um solchen Fehlgebrauch erkennen und somit die Energieübertragung abschalten, um eventuell auftretende Gefahren im Vorfeld vermeiden zu können.

7 Grundlagen Topologie

Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Neben dem Einsatz alternativer Materialien sind auch alternative Lösungstopologien zu untersuchen, insbesondere sind hier funktionale Überschneidungen mit fahrzeugseitigen Komponenten zu untersuchen, bewerten und in Lösungsansätze einzuarbeiten.

Untersuchungen zum Einsatz alternativer Materialien zur Untersuchung, Bewertung und Auswahl von Lösungsansätzen

Ziel: Kosten-, gewichts-, effizienz- und volumenoptimierte Lösungsansätze

Ergebnisse

7.1 Ermittlung der Induktivität und der Verlustleistung einer Ladespule bei 40 kHz

Aufgabe:

Ermittlung der Induktivität und der Verlustleistung zur Bestimmung des Wirkungsgrads des Spulensystems bei einer zu übertragenden Leistung von 3 kW.

Aufbau:

Zwei nahezu identische Spulen, eine Primärspule und eine Sekundärspule, wurden mit Ferriten und Hochfrequenzlitze aufgebaut. Die Anzahl der Wicklungen in den Spulen betrug 10, die eine nahezu rechteckige Form besitzen. Allerdings wurde bei der Primärspule eine andere Hochfrequenzlitze als bei der Sekundärspule eingesetzt. In der Primärspule war eine 1400 x 0,1 mm HF-Litze und in der Sekundärspule eine 350 x 0,2 mm. Die Spulengröße betrug 850 mm x 850 mm.

Der Abstand der Luftspalt des Spulensystems betrug bei diesem Versuchsaufbau einmal 116 mm und einmal 136 mm.

Ergebnis:

Die Verlustleistung wird in der Primärspule gemessen, während an der Sekundärspule keine Last angeschlossen und sie nicht kurzgeschlossen war. Bei einem Primärstrom von 10 A eine

Verlustleistung von 13,5 W in der Spule, wenn der Abstand 116 mm beträgt. Geht man nun davon aus, dass nun der Strom in der Sekundärspule mit 20 A doppelt so groß wie in der Primärspule ist, so ergibt sich für die gesamte Verlustleistung im Spulensystem folgender Wert:

$$13,5W + 4 \cdot 13,5W = 67,5W$$

Dies ergibt bei einer Übertragung von 3 kW einen Wirkungsgrad von 97,8 %.

Bei der Messung der Induktivität erhält man folgendes Ergebnis bei unterschiedlichen Abständen der Spulen zueinander:

	Eigeninduktivität Primärseite mit offenem Stromkreis	Eigeninduktivität Primärseite mit geschlossenem Stromkreis	Gegeninduktivität	Induzierte Spannung auf Sekundärseite bei 10 A Primärstrom
Spulenabstand: 116 mm	135,5 µH	105,9 µH	63 µH	174 Vrms
Spulenabstand: 136 mm	132,1 µH	110,1 µH	53,8 µH	152 Vrms

Tabelle 4: Übersicht Ergebnisse

7.2 Bestimmung der MOSFET Schaltzeiten

Aufgabe:

Bestimmung von Strom- und Spannungsverläufe beim Schalten des MOSFET-Coolmos IPP50R140CP in Verbindung mit einer Silicon Carbide IDT05S60C Diode.

Versuchsaufbau:

Der MOSFET-Coolmos IPP50R140CP und die Silicon Carbide IDT05S60C Diode wurden mit einer Totem-Pole-Schaltung (Gegentakt-Ausgangsstufe) verbunden. Zusätzlich wurde eine Induktionsspule an die Diode angeschlossen.

Ergebnis:

Für zwei unterschiedliche Widerstände (33 Ohm und 15 Ohm) ergaben sich folgende Schaltzeiten:

- Für 33 Ohm beträgt die Schaltzeit 20 ns für 250 V und 7,5 A.
- Für 33 Ohm beträgt die Schaltzeit 24 ns für 350 V und 11 A.
- Für 15 Ohm beträgt die Schaltzeit 14 ns für 250 V und 7,5 A.
- Für 15 Ohm beträgt die Schaltzeit 16 ns für 350 V und 11 A.

Über das Oszilloskop konnte die benötigte Energie beim Schalten ermittelt werden:

- Für 15 Ohm beträgt die benötigte Energie beim Einschalten 33 μ J für 350 V und 11 A.
- Für 15 Ohm beträgt die benötigte Energie beim Ausschalten 37,8 μ J für 350 V und 13 A.

Die Ausschaltzeit hängt mehr von der Spannung und dem Strom ab als die Einschaltzeit. Erhöht man Strom und / oder die Spannung, steigt diese Zeit auch an.

7.3 Simulationsergebnis Versatz

Aufgabe:

Ermittlung der maximal zu übertragene Leistung bei einem Versatz der Spulen von 100 mm in x- oder y-Richtung oder 140 mm Radius. Hierzu wurde folgendes System simuliert und ausgewertet, wobei das System unterschiedlich abgestimmt war:

- Übertragene Leistung ohne Versatz: 3,2 kW
- System mittig abgestimmt
- Stationäre und mobile Spule eckig
- Stationäre Spule mit konstanter Größe:
 - 1000 x 1000 mm
 - 700 x 700 mm Mitte Cu
- Mobile Spule:
 - 1000 x 1000 mm
 - 700 x 700 mm Mitte Cu
- Abstand: 180 mm (Cu – Cu)
- Durchflutung Primärseite: 24 At
- Frequenz: 140 kHz

Ergebnis spulenmittige Abstimmung:

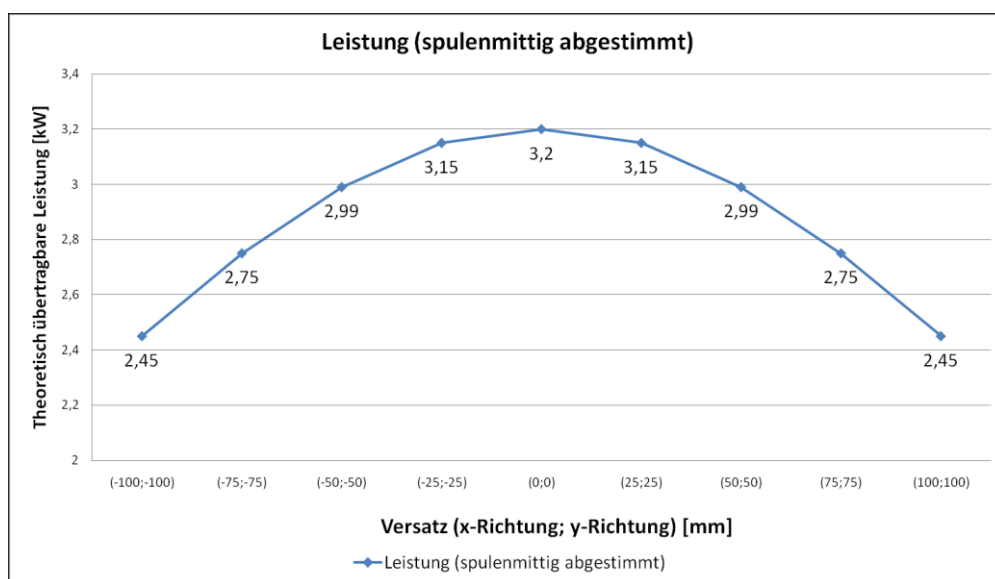


Abbildung 29: Theoretisch übertragbare Leistung bei Versatz der mittig Spulen

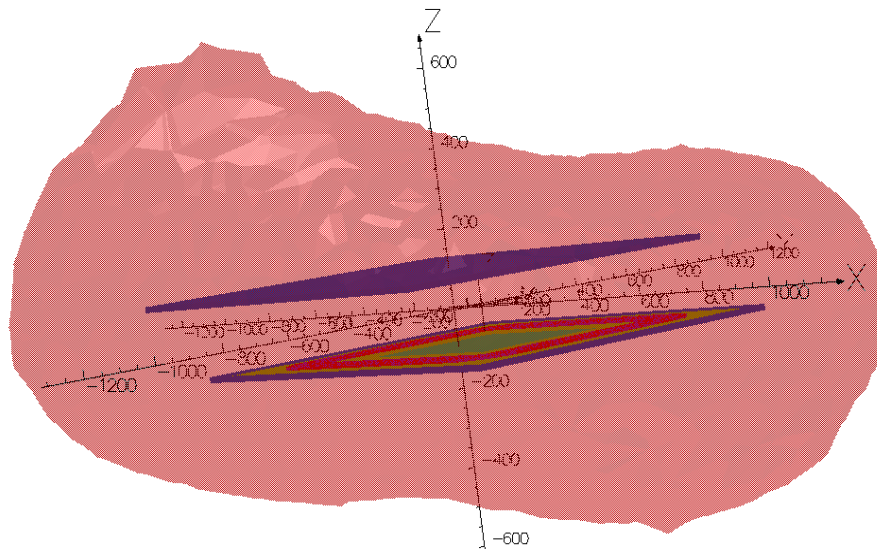


Abbildung 30: ICNIRP-Grenzwert von 6,25 μT

Fazit bei Versatz der mobilen Spule von 100 mm in beide Richtungen und einem System, welches auf eine übertragbare Leistung von 3,2 kW bei direkter Überdeckung ausgelegt ist:

- Verstärkte Streufelder in allen seitlichen Richtungen.
- ICNIRP-Grenzwerte können durch den Versatz nicht eingehalten werden. Bezug ist immer die mobile Spule plus 300 mm Abstand in alle Richtungen - Türschweller.
- Bei einem mittig abgestimmten System können die 500 μT in der Meßebe (15 mm über Abdeckung der stationären Spule) nahezu eingehalten werden.

Die übertragbare Leistung ohne Anpassung des Systems und einem Versatz der mobilen Spule beträgt 2,45 kW oder 77 %.

Ergebnis für nichtmittig abgestimmtes System:

Positionen, auf welche das System abgestimmt wurde (x-Wert; y-Wert):

- (0;0) → Systemmitte
- (25;25)
- (50;50)
- (75;75)
- (100;100)

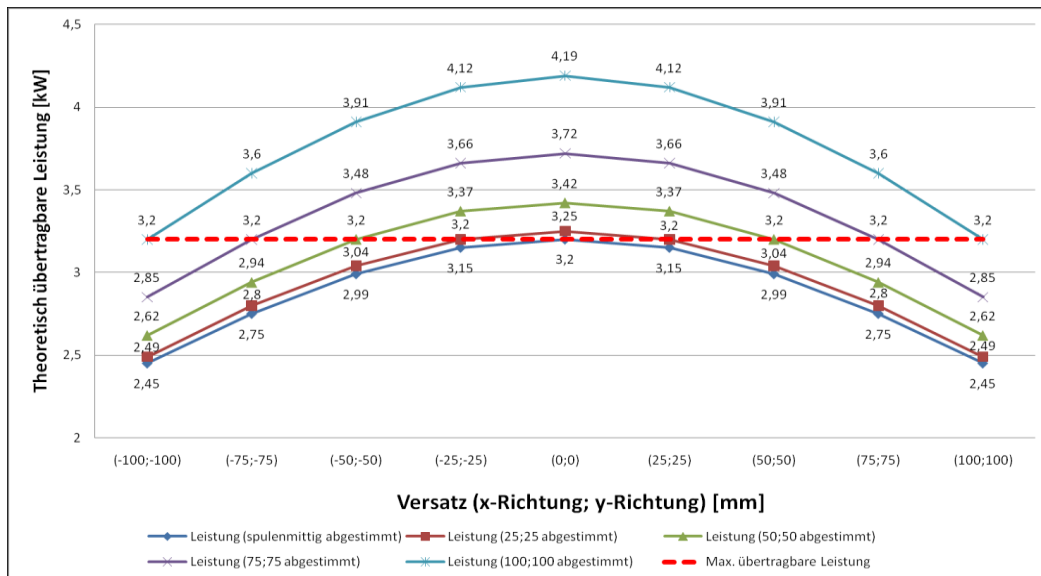


Abbildung 31: Theoretisch übertragbare Leistung bei Versatz der nichtmüch abgestüchten Spulen

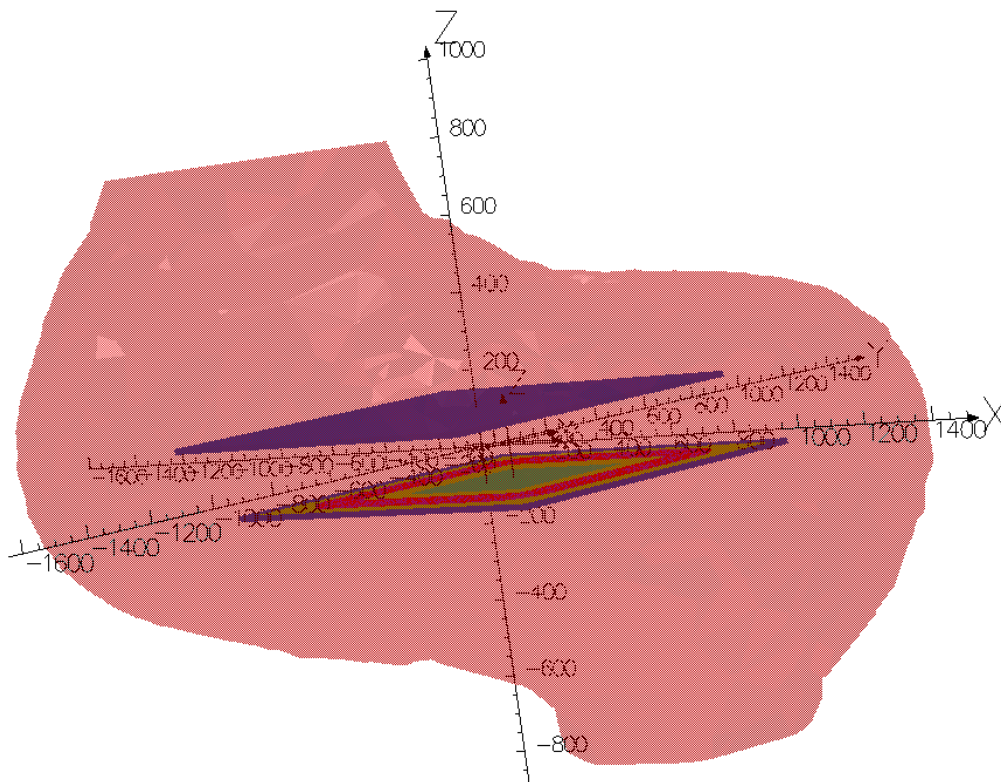


Abbildung 32: ICNIRP-Grenzwert von 6,25 µT

Fazit bei Versatz der mobilen Spule von 100 mm in beide Richtungen und einem System, welches auf eine übertragbare Leistung von 3,2 kW bei nicht direkter Überdeckung ausgelegt ist:

- Verstärkte Streufelder in allen seitlichen Richtungen.

- ICNIRP-Grenzwerte können durch den Versatz nicht eingehalten werden. Bezug ist immer die mobile Spule plus 300 mm Abstand in alle Richtungen - Türschweller.
- Bei einem nichtmittig abgestimmten System können die 500 μT in der Meßebeane (15 mm über Abdeckung der stationären Spule) nicht eingehalten werden. Bei einem abgestimmten System auf einen Versatz von $x = 100\text{mm}$ und $y = 100\text{ mm}$ liegt die Flussdichte bei ca. 650 μT .

Um das System gegen einen Versatz und gleicher Spulengröße toleranter zu machen, muss die Flussdichte von 500 μT in der Messebene angehoben werden.

7.4 Vergleich sekundäre Rechteckspule mit Quadratspule

Aufgabe:

Anhand einer Simulation soll untersucht werden, wie sich die magnetische Flussdichte und die magnetischen Streufelder im Vergleich zwischen einer sekundären Rechteckspule zu einer Quadratspule verhalten, wenn die Primärspule gleich bleibt.

Durchführung:

Parameter für die Simulation:

- Übertragene Leistung: 3,2 kW
- Stationäre Spule quadratisch
 - 1000 x 1000 mm
 - 700 x 700 mm Mitte Cu
- Mobile Spule rechteckig (800 x 1000 mm)
 - 800 x 1000 mm (schmale Seite in Fahrtrichtung)
 - 560 x 700 mm Mitte Cu
- Abstand: 180 mm (Cu – Cu)
- Durchflutung Primärseite: 24 At
- Frequenz: 140 kHz

Ergebnis:

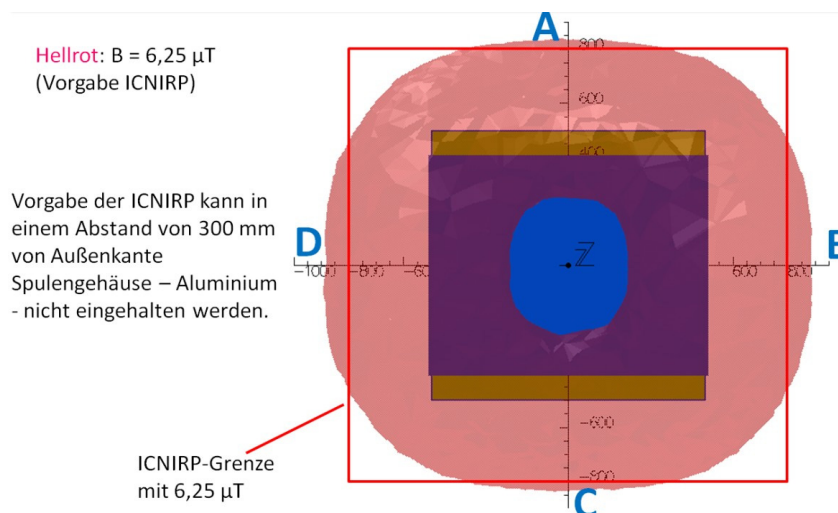


Abbildung 33: ICNIRP-Grenzen

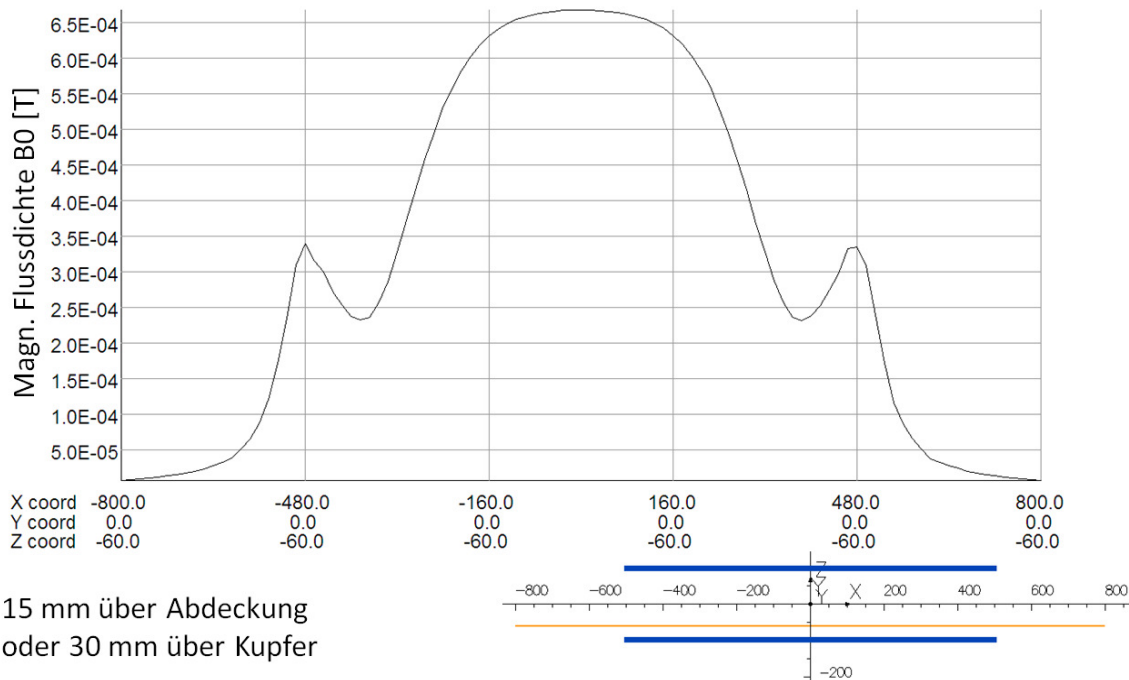


Abbildung 34: Magnetische Flussdichte auf der Meßebe (15 cm über Abdeckung)

	Spulengeometrie (1000 x 1000 mm)	Spulengeometrie (800 x 1000 mm)	Spulengeometrie (800 x 800 mm)
Übertragbare Leistung	3,2 kW	3,2 kW	3,2 kW
Durchflutung mobile Spule	142,9 At	174,0 At	219,8 At
Magn. Flussdichte in Meßebe (30 mm über Cu)	520 μ T	670 μ T	850 μ T
Magn. Flussdichte im Abstand 300 mm (ICNIRP)	7,5 μ T	7,8 μ T / 10 μ T (schmale / breite Seite)	6,3 μ T

Tabelle 5: Vergleich Flussdichten unterschiedlicher mobiler Spulen

Fazit bei Verwendung einer rechteckigen mobilen Spule (800 x 1000 mm) und einer quadratischen stationären Spule (1000 x 1000 mm) bei einer übertragbaren Leistung von 3,2 kW bei direkter Überdeckung:

- Verstärkte Streufelder in alle seitlichen Richtungen.
- ICNIRP-Grenzwerte können durch eine seitlich zur Fahrtrichtung schmalere Spule nicht eingehalten werden. Bezug ist immer die stationäre Spule plus 300 mm Abstand in alle Richtungen – hier vor allem Richtung Türschweller.
- Die 500 μ T in der Meßebe (15 mm über Abdeckung der stationären Spule) werden nicht eingehalten und liegen bei 670 μ T.

- Die magnetische Flussdichte im Abstand von 300 mm ist zwar bei einer kleinen quadratischen Spule geringer, allerdings erhöht sich wegen der geringeren Fläche auch die magnetische Flussdichte, was wieder eine stärkerer Erhitzung von ferromagnetischen Materialien mit sich bringt.

7.5 Einfluss des Abstandes auf die zu übertragende Leistung

Aufgabe:

Untersuchung anhand einer Simulation, wie sich eine Abstandsveränderung zwischen stationärer und mobiler Spule auf die Energieübertragung auswirkt.

Durchführung:

Ermittlung, welche Leistung bei einem Übertragungssystem, welches auf einen Spulenabstand von 150 mm ausgelegt wurde, bei 180 mm noch übertragen werden kann.

Parameter für Ausgangssituation für die Simulation und 150 mm Spulenabstand:

- Strom stationäre Spule: 24 At
- Strom mobile Spule: 115 At
- Frequenz: 140 kHz
- Kupferbreite Spule: 100 mm
- Spulenabmessungen (Mitte Cu-Cu): 700 x 700 mm
- Fläche Ferrit: 1000 x 1000 mm
- Leistung: 3,2 kW

Ergebnis:

Erhöht man den Abstand von 150 mm auf 180 mm so verändern sich folgende Parameter:

- Strom mobile Spule: 119,5 At
- Leistung: 2,68 kW

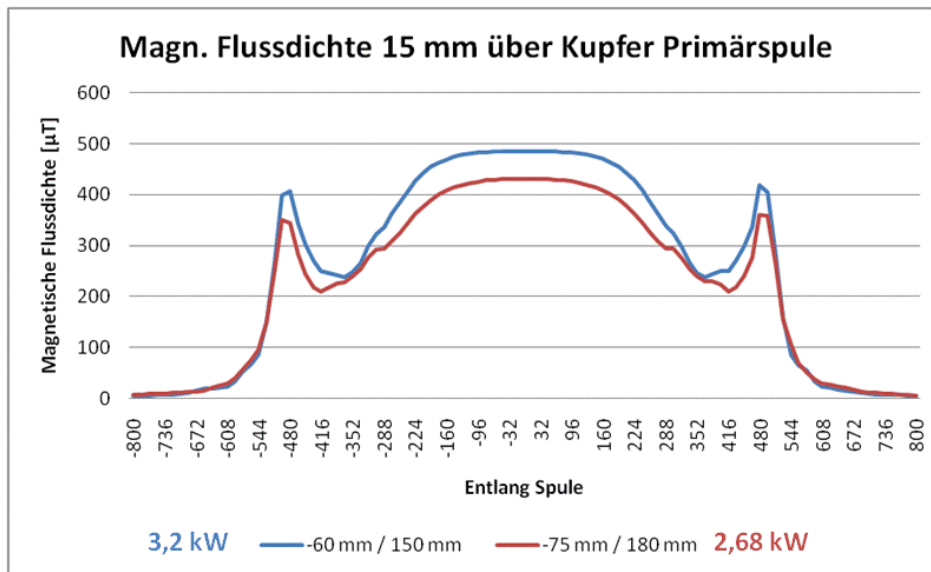


Abbildung 35: Vergleich der Flussdichten, wenn sich nur der Abstand ändert.

Bei einem Übertragungssystem, welches auf einen Luftspalt (Cu-Cu) von 150 mm ausgelegt wurde, reduziert sich bei einem Luftspalt von 180 mm (Cu-Cu) die zu übertragende Leistung um ca. 15 % von 3,2 kW auf 2,68 kW. Um ebenfalls die 3,2 kW bei 180 mm Luftspalt (Cu-Cu) übertragen zu können, muss der Strom in der mobilen Spule um ca. 48,5 % auf 142,9 A erhöht werden. Dies erhöht die Flussdichte auf den Polflächen in einem Abstand von 15 mm über Kupfer Primärseite um max. 6 % auf 515 μT .

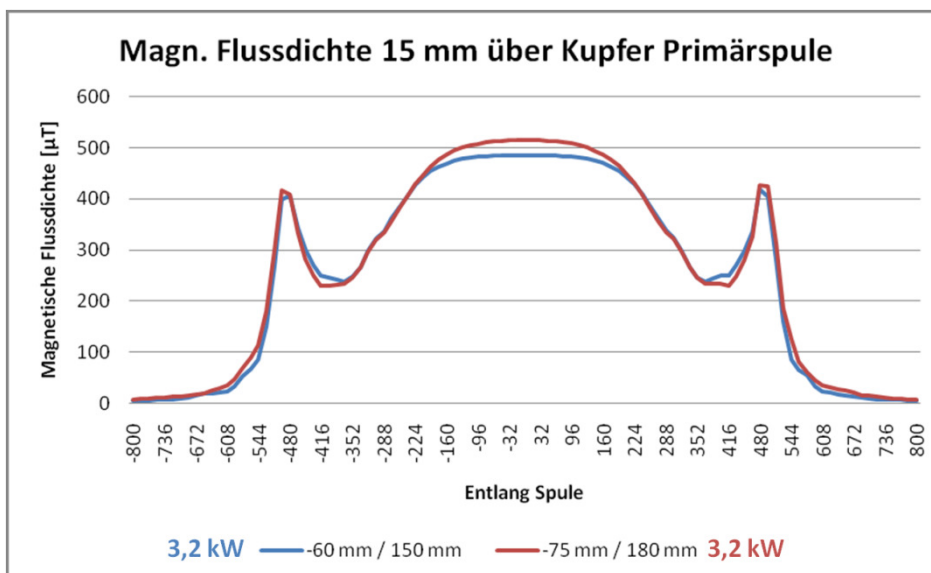


Abbildung 36: Vergleich der Flussdichten, wenn 3,2 kW übertragen werden.

Betrachtet man die zu übertragende Leistung in Abhängigkeit des Abstandes, hier Cu-Cu, so ergibt sich folgende Kurve der zu übertragenden Leistung für zwei Übertragungssystem mit unterschiedlichen Basisabständen:

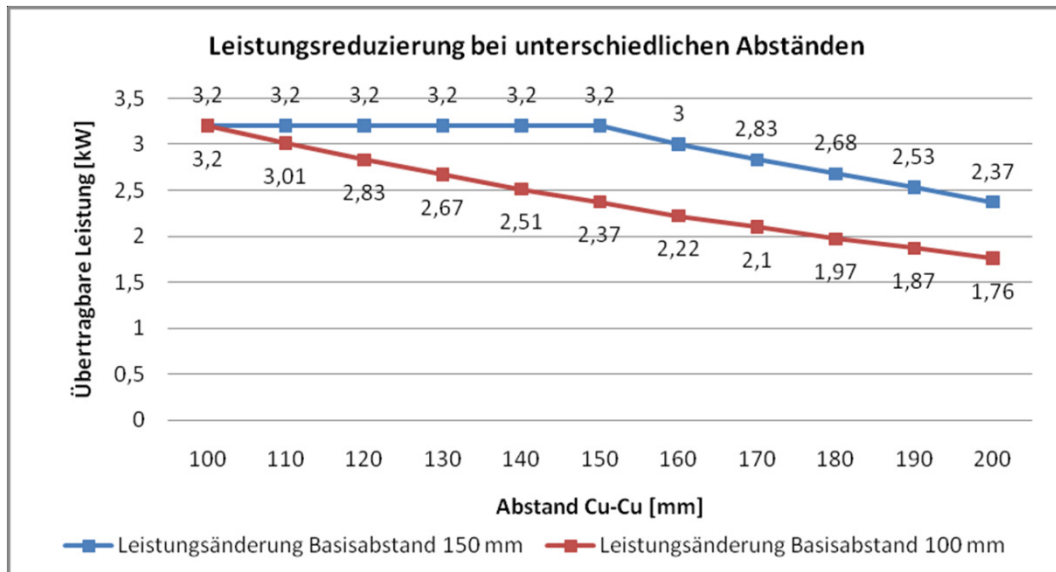


Abbildung 37: Leistungsverhalten bei unterschiedlichen Basisabständen

8 Grundlagen Topologie stationäre Seite als abgesetzte oder integrierte Lösung

Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Neben dem Einsatz alternativer Materialien sind auch alternative Lösungstopologien zu untersuchen um optimierte Lösungen zu finden. Topologieerprobungen zu Einspeiseelektronik unter Gesichtspunkten eines geschlossenen Kompletterätes für die Überflurinstallation und einer Unterflurinstallation mit räumlich vom Bodenplattenmodul abgesetzter Elektronik

Ziel: Kosten-, gewichts-, effizienz- und volumenoptimierte Lösungsansätze

Ergebnis

Bei oberirdischen Schaltschränken, in denen sich der Einspeisekonverter befindet, besteht oftmals die Gefahr, dass diese Opfer von Beschädigungen oder Vandalismus werden und somit die Instandhaltungskosten schnell in die Höhe gehen können. Aus diesem Grund wurde eine Variante in Betracht gezogen, bei der alle wesentlichen Komponenten auf der stationären Seite in einem Kompletterät enthalten sind, welches unterflurig installiert werden kann.

Bei einem Kompletterät für die Unterflurinstallation sind die Anforderungen im Wesentlichen anders als bei einer Installation, bei der die Bodenplatte von der Elektronik abgesetzt ist. Allerdings bietet sie auch Vorteile. Diese wären:

- Keine zusätzliche Platzbedarf durch Verbau der Elektronik notwendig, z.B. Schaltschrank im öffentlichen Bereich.
- Bei öffentlichen Ladestationen kommt diese Lösung den Stadtplanern sehr entgegen, da sie nahezu keine Störelemente, wie die separate Elektronik, haben.
- Schutz gegen Vandalismus, da unsichtbar im Boden versenkt.
- Vielseitige und individuelle Lösung für kabelloses Laden.
- Keine Platzeinschränkung, da begeh- und befahrbar.
- Vermeidung von oberirdischen Kabelführungen und die damit verbundene Sicherheit für Fußgänger, Kinder, Behinderte etc.

Allerdings werden bei Unterflurinstallationen erheblich höhere Anforderungen gestellt, um das Ladesystem bei nahezu allen gängigen Umgebungsbedingungen störungsfrei funktionieren zu lassen. Solche Anforderungen sind:

- Schutz gegen Flutung durch Wasser.
 - Das Entwässerungssystem muss die innere Elektrik als auch sämtliche Anschlüsse nachhaltig vor Feuchtigkeit schützen.
 - Überlappend, wasserdicht aufgebrachte Primärspulengehäuse
 - Druckwasserdichter Kabelanschluss
- Für ausreichende Wärmeabfuhr sorgen, ggf. mit Wasserkühlung
- Je nach Installationsort muss die Elektronik gekühlt oder gewärmt werden. Folge es wird für jede Einheit ein Klimagerät oder eine Heizung benötigt.
 - Selbstregulierende Heizung verhindert das Vereisen und die Bildung von Kondenswasser.
- Statische Überprüfung
 - Überfahrttests zum Stabilitätsnachweis
- Schutz gegen Grund- und Kondenswasser
 - Druckwasserdichter Betonschacht
 - Abwasseranschlüsse am Betonschacht

Die flexible Raumnutzung und die unsichtbare "Lagerung" der unterflurig installierten Komplettgeräte ermöglichen kabelloses Laden auch bei Platzmangel sowie flexible Nutzungskonzepte und sorgen für ein harmonisches Stadtbild

9 Optimierungspotential Elektronik

Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Angesichts begrenzter Stückzahlen in den bisherigen Lösungsansätzen sind unter dem Aspekt eines Masseneinsatzes erhebliche Einsparpotentiale zu erwarten. Hierzu bedarf es allerdings entsprechender Analysen und messtechnischer Bewertungen.

Ziel: Erkenntnisse zu Bauteilen und Designansätzen die wesentlich wettbewerbsfähigere Ansätze bei der späteren Produktentwicklung erlauben und teilweise bereits in die Umsetzung anderer Arbeitspakete einfließen können.

Ergebnisse

9.1 Kompensationsmöglichkeiten

Eine kontaktlose Übertragungsanordnung ist im Vergleich zum kontaktbehafteten Transformator durch große Streuinduktivitäten und eine kleine Hauptinduktivität gekennzeichnet. Diese großen Streuinduktivitäten erfordern eine Kompensation, um Leistungen mit entsprechenden Wirkungsgraden übertragen zu können. Die Anordnung der Kompensationselemente kann auf Primär- und Sekundärseite sowohl seriell als auch parallel erfolgen. Daraus ergeben sich vier verschiedene Resonanzanordnungen, von denen die symmetrischen Anordnungen (Serien-Serien-Resonanz und Parallel-Parallel-Resonanz) im Folgenden näher betrachtet werden sollen. Abbildung 38 zeigt das Ersatzschaltbild des Resonanzübertragers mit den möglichen Positionen für die Kompensationskapazitäten.

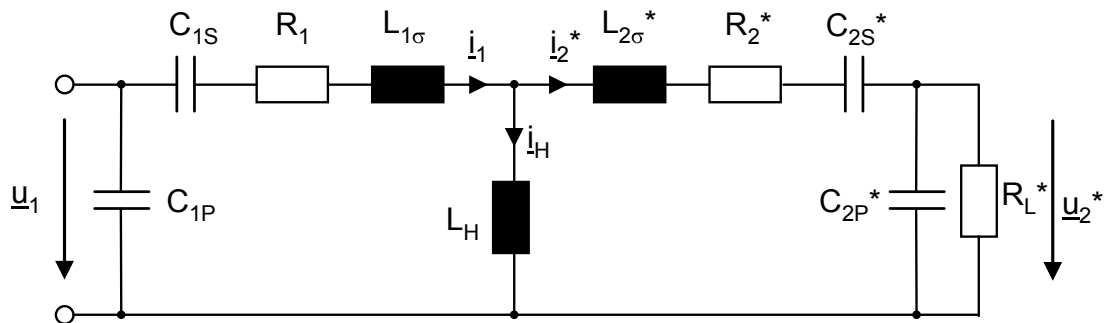


Abbildung 38: Resonanzanordnung mit möglichen Positionen für die Kompensationskapazitäten

Das Übertragungsverhalten wird maßgeblich durch die Anordnung der sekundären Resonanzkapazität bestimmt.

Abbildung 39 zeigt die Sekundärspannung und den Primärstrom in Abhängigkeit von der Übertragungsfrequenz und dem Lastwiderstand bei Verwendung eines Reihenschwingkreises auf der Sekundärseite. Da der Lastwiderstand maßgeblich die Dämpfung des sekundären Resonanzkreises bestimmt, steigen die Sekundärspannung und auch der Primärstrom mit größer werdendem Lastwiderstand. Dieses Verhalten ist umso ausgeprägter, je größer der Lastwiderstand ist.

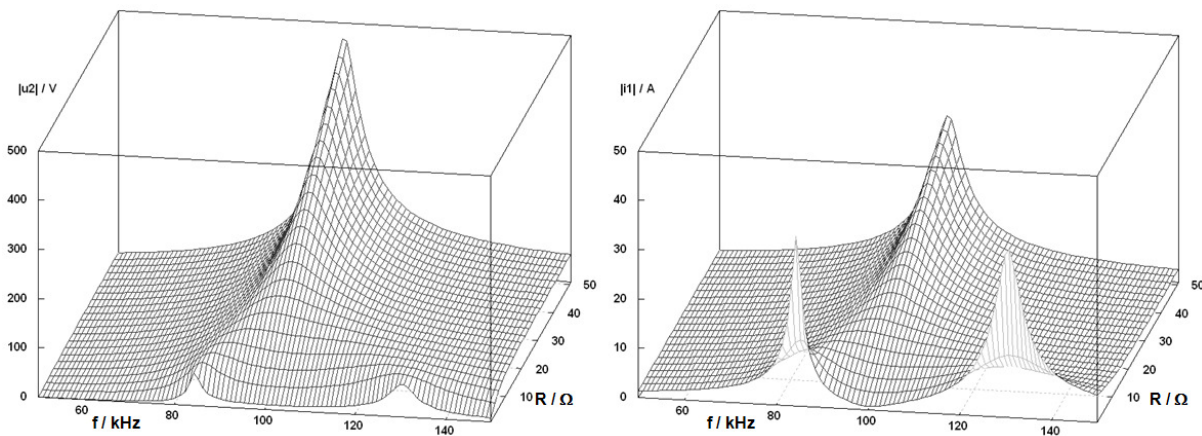


Abbildung 39: Übertragungsverhalten bei sekundärseitiger Serienresonanz

Ein Vorteil des sekundären Parallelschwingkreises ist, dass die Ausgangsspannung in einem großen Bereich unabhängig vom Lastwiderstand ist (Abbildung 40). Nachteilig hingegen ist der relativ konstante Resonanzstrom i_2^* der auch im Teillastbereich eine konstante Verlustleistung über dem Wicklungswiderstand hervorruft. Bei der Verstimmung des Resonanzsystems (beispielsweise durch Luftspaltvergrößerung) steigt bei geringer Belastung die Ausgangsspannung zunächst an. Dieser Spannungsanstieg kann durch schaltungstechnische Maßnahmen ausgegeregelt werden, verursacht jedoch zusätzliche Verluste.

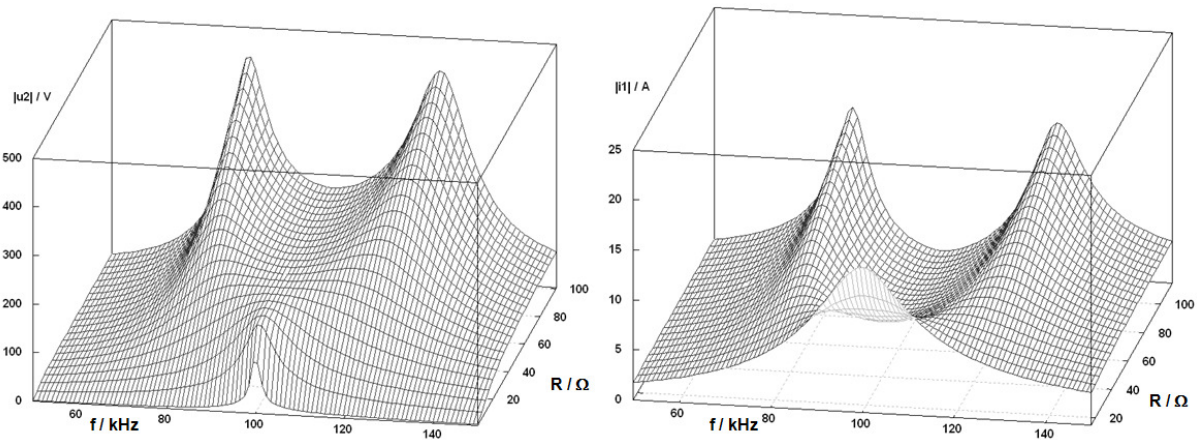


Abbildung 40: Übertragungsverhalten bei sekundärseitiger Parallelresonanz

9.2 Analyse verschiedener Kompensationsstrategien

Nicht nur die Anordnung der Kompensationselemente sondern auch die Auslegung der Kapazitäten ist vielfältig. So kann die Kapazität auf der Primärseite beispielsweise nur die Streuinduktivität der Primärspule, die Gesamtinduktivität dieser Spule oder die Gesamtinduktivität der Übertragungsanordnung kompensieren. Im Folgenden werden diese Kompensationsmöglichkeiten S-Abgleich, L-Abgleich und G-Abgleich genannt.

S - Abgleich	einseitige Kompensation der jeweiligen Streuinduktivität
L - Abgleich	einseitige Kompensation der jeweiligen Haupt und Streuinduktivität
G - Abgleich	Kompensation unter Berücksichtigung aller Haupt und Streuinduktivitäten, bezogen auf die jeweilige Seite des Übertragungssystems

Die Analyse des Übertragungsverhaltens des Resonanzsystems erfolgte für die Parallel-Parallel-Anordnung und die Serien-Serien-Anordnung, wobei die primärseitige Parallelkapazität mit einem Konstantstrom und die Serienkapazität mit einer Konstantspannung gespeist wurden. Ergebnis der Untersuchungen ist die Änderung der primärseitigen Phasenwinkel zwischen Strom und Spannung und der Spannungsübersetzungsfaktor zwischen Empfangsspannung und Speisespannung in Abhängigkeit der belasteten Güte.

Da die Induktivität der Spule auch bei Deplatierung konstant ist wird diese als charakteristische Reaktanz der Spule gewählt. Unter der Voraussetzung, dass $R_L \gg R_1$ und $R_L \gg R_2$, lässt sich die belastete Güte des Resonanzübertragers durch folgende Gleichung definieren.

$$Q_L = \frac{v}{R_L}$$

In den folgenden Diagrammen sind das Spannungsübersetzungsverhältnis und der primärseitige Phasenwinkel als Funktion der Frequenz und der belasteten Güte für sämtliche Variationen der zuvor genannten Kompensationsmöglichkeiten dargestellt. Da die Parallel-Parallel-Anordnung mit einem Konstantstrom gespeist wird ist im Ergebnis das Verhältnis von Ausgangsspannung zu Eingangsstrom dargestellt.

sekundär \ primär	S	L	G
S	$\varphi = \text{const}$ $u_2/u_1 = \text{const}$ $u \rightarrow \omega_n$	$\varphi \neq \text{const}$ $u_2/u_1 = \text{const}$	$\varphi \neq \text{const}$ $u_2/u_1 = \text{const}$
L	$\varphi \neq \text{const}$ $u_2/u_1 = \text{const}$	$\varphi = \text{const}$ $u_2/u_1 = \text{const}$ $\varphi \rightarrow \omega_n$	$\varphi \approx \text{const}$ $u_2/u_1 = \text{const}$
G	$\varphi \neq \text{const}$ $u_2/u_1 = \text{const}$	$\varphi \approx \text{const}$ $u_2/u_1 = \text{const}$	$\varphi = \text{const}$ $u_2/u_1 = \text{const}$ $u \rightarrow \omega_n$

Tabelle 6: Vergleich der Kompensationsstrategien bei der Serien-Serien-Anordnung

sekundär \ primär	S	L	G
S	$\varphi = \text{const}$ $u_2/i_1 \neq \text{const}$	$\varphi \neq \text{const}$ $u_2/i_1 \neq \text{const}$	$\varphi \neq \text{const}$ $u_2/i_1 \neq \text{const}$
L	$\varphi \neq \text{const}$ $u_2/i_1 = \text{const}$ $u \rightarrow \omega_n$	$\varphi = \text{const}$ $u_2/i_1 = \text{const}$ $\varphi, u \rightarrow \omega_n$	$\varphi \approx \text{const}$ $u_2/i_1 \approx \text{const}$ $\varphi, u \rightarrow \omega_n$
G	$\varphi \neq \text{const}$ $u_2/i_1 \approx \text{const}$ $u \rightarrow \omega_n$	$\varphi \approx \text{const}$ $u_2/i_1 \approx \text{const}$ $\varphi, u \rightarrow \omega_n$	$\varphi = \text{const}$ $u_2/i_1 = \text{const}$ $\varphi, u \rightarrow \omega_n$

Tabelle 7: Vergleich der Kompensationsstrategien bei der Serien-Serien-Anordnung

9.3 Frequenznachführung

Durch unterschiedliche Luftspalte zwischen den Ladespulen kann es beim Wirkungsgrad zu einer Reduzierung kommen. Dieser kann mit einer Frequenznachführung oder durch eine Steuerung des Primärstroms korrigiert werden. Allerdings wird hier nur die Frequenznachführung betrachtet.

Schlussfolgerung:

Ohne eine Änderung der Spannung kann die Leistung am Ausgang der Sekundärseite durch eine Frequenzänderung um 5 kHz korrigiert werden. Mit diesen 5 kHz kann ein relativ großer Luftspaltenbereich abgedeckt werden. Allerdings müssen die Auswirkungen der Frequenznachführung auf die Verlustleistungen der Transistoren noch untersucht werden.

10 Bau Testsystem unter Berücksichtigung der aktuellsten Erkenntnisse

Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Angesichts begrenzter Stückzahlen in den bisherigen Lösungsansätzen sind unter dem Aspekt eines Masseneinsatzes erhebliche Einsparpotentiale zu erwarten. Hierzu bedarf es allerdings entsprechender Analysen und messtechnischer Bewertungen.

Ziel: Erkenntnisse zu Bauteilen und Designansätzen die wesentlich wettbewerbsfähigere Ansätze bei der späteren Produktentwicklung erlauben und teilweise bereits in die Umsetzung anderer Arbeitspakete einfließen können.

Ergebnis

Die aktuellsten Erkenntnisse, welche im Laufe des Projektes gewonnen wurde, wurden in dem Testsystem eingebaut und bei Daimler in ein Fahrzeug integriert. Hierbei wurde die sekundärspule in einen Unterboden der B-Klasse integriert. Im Regler kann die Ladekennlinie parametrisiert werden. Hinzu kommt eine Positionierung, welche eine Positionsbestimmung unter folgenden 3 Übertragungsqualitäten erlaubt:

- gut ($r \leq 5$ cm)
- mittel ($5 \text{ cm} < r \leq 15$ cm)
- schlecht ($15 \text{ cm} < r \leq 40$ cm)
- keine Angabe ($r > 40$ cm)

Hinzu kommt 8 Richtungsangaben, mit welchen der Fahrer weiß, wie er die Position des Fahrzeugs zu korrigieren hat, wenn er eine gute Energieübertragung bei einem Luftspalt von 5 cm bis 15 cm erreichen möchte. Die Angaben sind folgende:

- vorne Mitte
- vorne rechts
- rechts
- hinten rechts
- hinten Mitte
- hinten links
- links
- vorne links

Die Ausgabe dieser Informationen geschieht über den fahrzeuseitigen CAN-Bus und kann über das HMI, welches im Fahrzeug integriert ist, angezeigt werden.

Das induktive Ladesystem in diesem Fahrzeug wird dort ausgiebig unter alltagstauglichen Bedingungen getestet.

11 Optimierungspotential Frequenzen

Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Die bisherigen Lösungsansätze zur induktiven Übertragung sind auf Grund der zur Verfügung stehenden Bauelemente meist in Ihrer Frequenz begrenzt. Beim Einsatz höherer Schaltfrequenzen

und neuer Komponenten sind höhere Effizienzen und Felddichten denkbar. Die Verfügbarkeit entsprechender Komponenten ist zu prüfen und laufend zu beobachten und zu bewerten. Bei aussichtsreichen Ansätzen sind entsprechende Integrationen zu prüfen ggf. zu realisieren.

Ziel: Ständige Beobachtung und ggf. Integration des aktuellsten Elektronikstandes. Erkenntnisse zu möglichen neuen Systemansätzen auf Basis höherer Frequenzen.

Ergebnisse

11.1 Übersicht der möglichen Frequenzen

Bei der Ermittlung der optimalen Frequenz stehen nicht nur die technischen Aspekte im Mittelpunkt sondern auch die „biologischen“, also der Hörbereich verschiedener Tiere. Hier fallen die Fledermäuse auf, welche einen Hörbereich von nahezu 120 kHz haben.

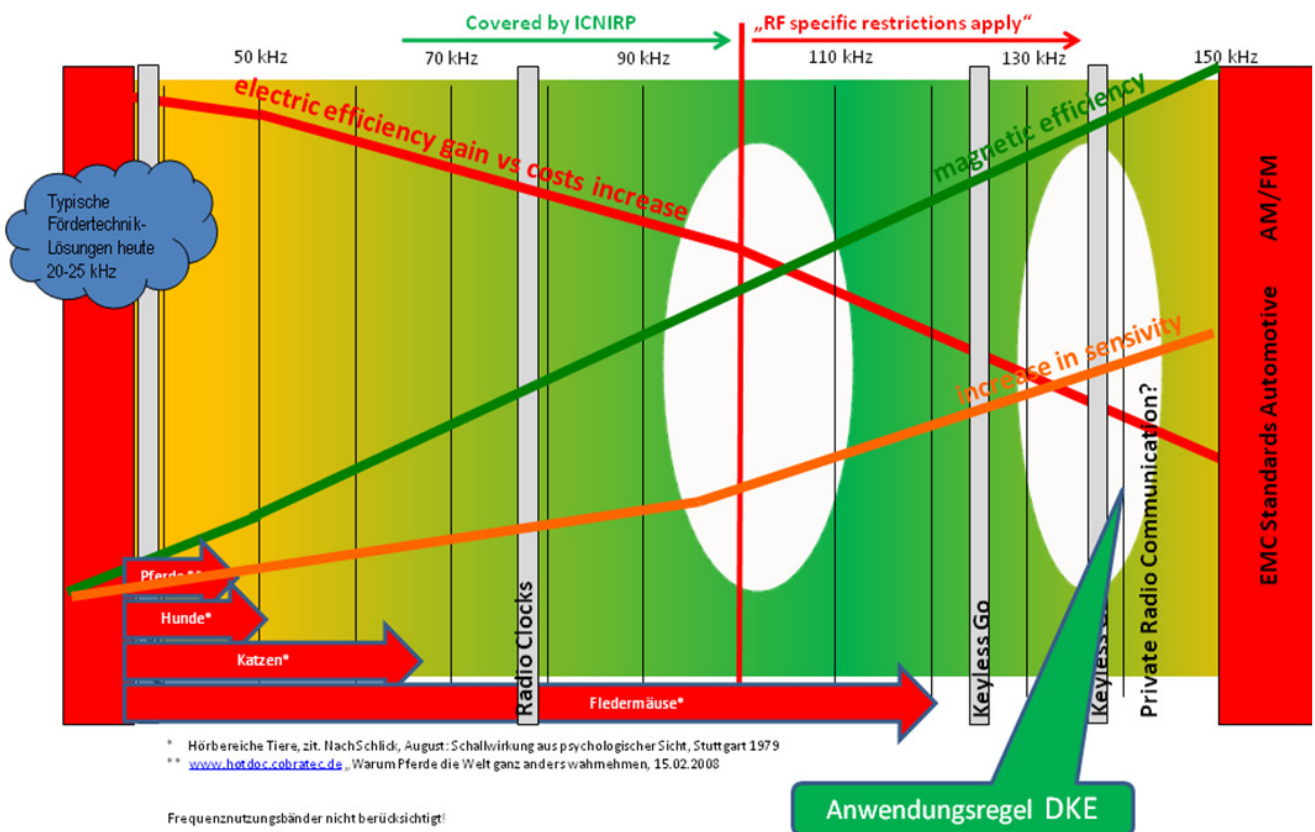


Abbildung 41: Auswirkungen der Frequenzen

In diesem dargestellten Bereich, werden die Empfehlungen der magnetischen Flussdichte durch die ICNIRP auch unterschiedlich bewertet. Bis zu einer Frequenz von 100 kHz gilt eine Empfehlung von 27 µT. Ab 100 kHz gelten laut ICNIRP spezielle Restriktionen, welche es zu beachten gilt. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die in Frage kommenden Betriebsfrequenzen.

Nominal- frequenz	40 kHz	90 kHz	140 kHz	190 kHz	> 200 kHz
Positionierung	+	+	+	+	+
Erwärmung Geg.	+	++	++	++	++
Feld Umgebung	+	+	++	++	++
Effizienz Übertr.	-	+	++	++	++
Effizienz Elektr.	+	++	++	+	-
Dicke+Gewicht	-	+	++	++	++
Fläche+Gewicht	-	+	++	++	++
Hörbereich Menschen	++	++	++	++	++
Hörbereiche übl. Tiere	-	+++	++	++	++
Regelaufwand und -stabilität	++	++	+	-	-
Automotive EMV	+	++	++	-	-

Tabelle 8: Gegenüberstellung der Frequenzen

Die Gegenüberstellung der möglichen Frequenzen zum kabellosen Laden von Elektrofahrzeugen zeigt, dass die 140 kHz durchaus eine anwendbare Betriebsfrequenz darstellen, auch wenn sie unter allen Gesichtspunkten nicht als ideal bezeichnet werden kann.

11.2 Messung der Verluste einer H-Brücke bei 140 kHz

Aufgabe:

Messung der entstehenden Verluste in einer H-Brücke, welche aus CoolMos MOSFET und Schottky Dioden besteht und bei einer Frequenz von 140 kHz geschaltet werden. Hierbei ist der CoolMos MOSFET IPP50R140CP mit der Schottky-Diode DSB20I15PA in Serie geschaltet. Parallel ist wiederum eine Silicon Carbide IDT05S60C Diode als Freilaufdiode angebunden. Die MOSFETS schalten bei 15 V und 140 kHz bei einem Winkel von 120°.

Versuchsaufbau:

Dier Ermittlung der Verlustleistung wurde durch zwei unterschiedliche Lasten, welche an die H-Brücke angeschlossen wurde, verglichen und ermittelt.

Um die gemessene Verlustleistung mit der theoretisch ermittelten Verlustleistung zu validieren, wurde zunächst eine Last an die H-Brücke angeschlossen, welche aus eine Induktivität und einer in Reihe geschalteten Kapazität besteht.

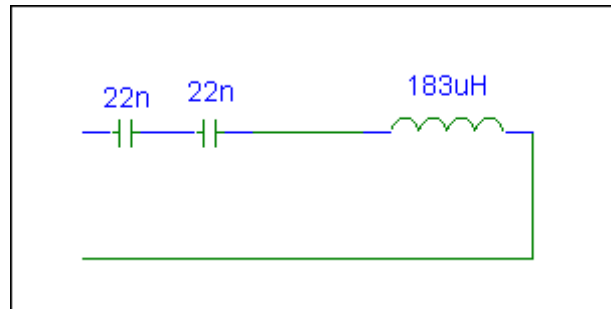


Abbildung 42: Last mit serieller Induktivität und Kapazität

Die durch diese Schaltung entstandenen Leistungsverluste wurden sowohl gemessen als auch theoretisch – mit Hilfe der Angaben der Datenblätter – ermittelt. Auf dem gemessenen Wege betrug die Verlustleistung 10,6 W während sich theoretisch ein Wert von 11,1 W. Die Ergebnisse zeigen, dass diese beiden Werte nahe beieinander liegen, weshalb beide Methoden zur Bestimmung der Verlustleistung als korrekt bezeichnet werden können.

Um nun die effektiven Verluste bei einer H-Brücke mit 11,5 Arms bei 140 kHz und 400 V zu ermitteln, wurde die Last modifiziert, indem sie neu abgestimmt wurde. Hierzu wurden zwei weitere Kapazitäten mit je 68 nF in die Last eingefügt.

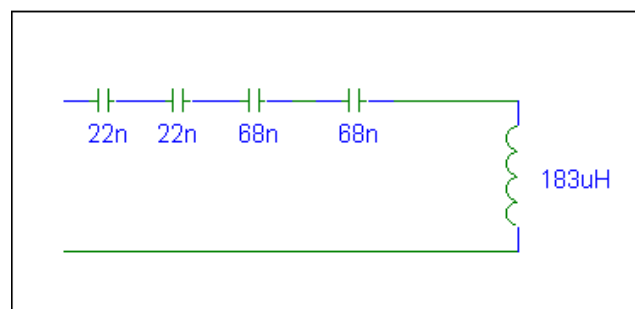


Abbildung 43: Neu abgestimmte Last

Ergebnis:

Nach Auswertung der Meßergebnisse ergaben sich eine gesamte Verlustleistung von 162 W, wobei sich diese wie folgt aufteilt:

- Verlustleistung in Spule und Induktivität: 99 W
- Verlustleistung durch das Schalten der MOSFETS: 24 W
- Verlustleistung MOSFETS und Dioden: 39 W

Alle diese Ergebnisse wurden bei einer Umgebungstemperatur von 25 °C gemacht. Bei einer höheren Umgebungstemperatur wird die Verlustleistung ansteigen. Auch wird die Verlustleistung durch eine andere Last variieren, da die sich die Phase des Stroms auch ändert.

11.3 Bestimmung der Verlustleistung in Abhängigkeit der Frequenz

Aufgabe:

Um das Magnetfeld zu reduzieren, wurde eine Anhebung der Frequenz untersucht. Zudem soll damit erreicht werden, dass sich ferromagnetische Materialien nicht zu stark erhitzen. Eine Anhebung der Frequenz wird nicht verhindern, dass sich ferromagnetische Materialien stark aufheizen werden, sich jedoch die Temperatur im thermisch eingeschwungenen Zustand reduziert. Hierbei wurden 3 verschiedene Komponenten, H-Brücke, Tuning Kondensatoren und Spulen, eines 3 kW-Übertragungssystems untersucht.

Ergebnis:

H-Brücke

IRGP35B60 (IGBT)

f	I	switching	on-state	Ptot in
		Ploss_s*	Vce @ 9A # 1,5V	H-bridge***
20	9,0	3,6	27	34
40	9,0	7,2	27	41
140	9,0	25,2	27	77

9*390V=3500W

*: aus dem Datenblatt. Annahme $E_{on}=E_{off}=20\mu J/A$

2 von 4 Schaltungen haben keine Einschaltverluste, die beiden anderen haben keine Ausschaltverluste.

Eine H-Brücke mit 4 IGBTs hat ungefähr 40W Verlustleistung @ 20kHz und 130W @ 140kHz.

Mit steigender Frequenz ist der Einsatz von MOSFETS nötig.

SPW35N60CFD (Mosfet)

f	I	switching	on-state	Ptot in
		Ploss_s**	Rdson # 0,17ohm	H-bridge***
20	9,0	1,3	27,5	30
40	9,0	2,6	27,5	33
140	9,0	9,1	27,5	46
140	11,5	11,6	45,0	68

9*390V=3500W

** : aus dem Datenblatt $t_r+t_f=37ns$, Annahme: $P_{loss_s}=V*I*f*(t_r+t_f)/2$

2 von 4 Schaltungen haben keine Einschaltverluste, die beiden anderen haben keine Ausschaltverluste.

Eine H-Brücke mit 4 Coolmos hat ca. 35W Verlustleistung @ 20kHz and 65W @ 140kHz.

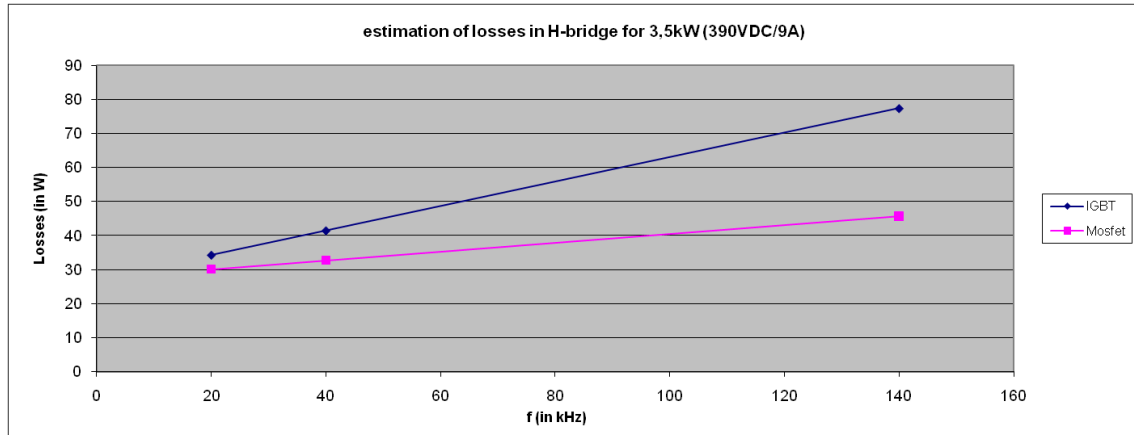


Abbildung 44: Kalkulierte Verlustleistung in einer H-Brücke bei einer Leistung von 3,5 kW

Diese hier berechneten Werte der Verlustleistung stimmt sehr gut mit den meßtechnisch bestimmten Werten mit 24 W für Schaltverluste und 39 W für Verluste in MOSFET und Dioden überein.

Tuning Kondensatoren

Der Primärstrom kann mit einer Anhebung der Frequenz reduziert werden, da die Leistung folgendermaßen von der Frequenz und dem Strom abhängt:

$$P \sim f \cdot I^2$$

Allerdings steigen die ESR-Verluste mit zunehmender Frequenz an. Betrachtet man eine Spule, bei der nur die Frequenz verändert wird und die Ferritanordnung, die Anzahl der Wicklung und somit die Induktivität dieser Spule gleich bleibt, so ergeben sich laut dem Datenblatt des EPCOS MKP folgende Verlustleistungen:

P_{loss} ist für 20 kHz normiert.

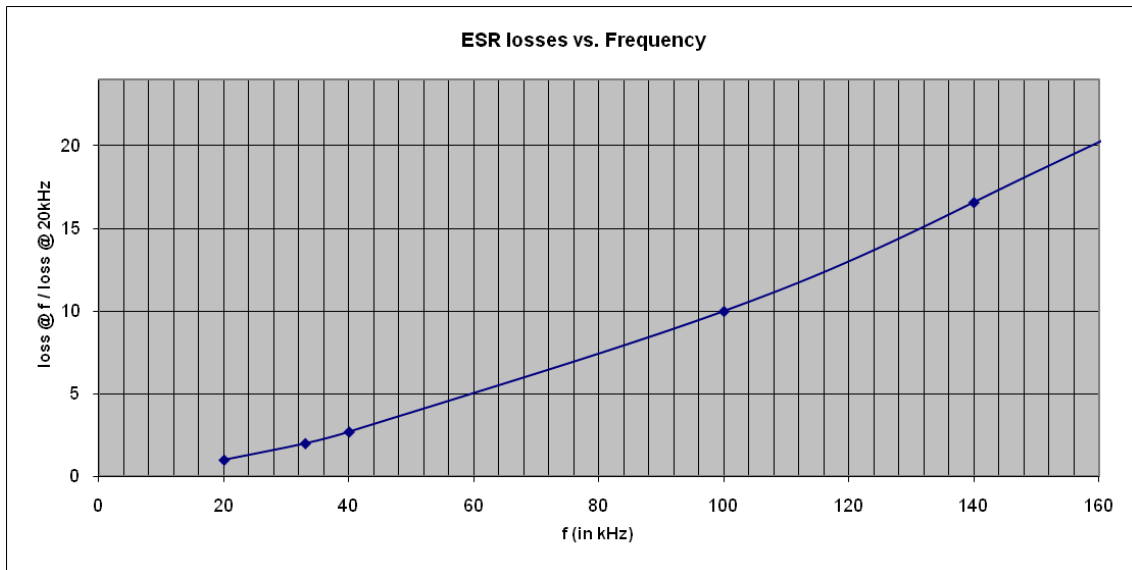


Abbildung 45: ESR-Verluste in Abhängigkeit der Frequenz

Die Verluste in den Tuningkondensatoren nehmen mit der Frequenz zu, z.B. um den Faktor 10 wenn man die Frequenz von 20 kHz auf 100 kHz erhöht.

Bei einer Anhebung der Frequenz reduziert sich der Primärstrom und demzufolge auch in den Kondensatoren um den Faktor $\sqrt{\frac{1}{f}}$. Jedoch reduziert sich die Kapazität bei einer gegebenen Spuleninduktivität mit der Frequenz, allerdings steigt $\tan(d)$. Da der Kurzschlussstrom auf der Sekundärseite bei gleicher Ausgangsleistung gleich bleiben muss, muss die Induktivität L_2 proportional zu I_p^2 reduziert werden. Sowohl für die Primärspule als auch für die Sekundärspule sind die Verluste in den Kondensatoren proportional zu $\tan(d)$.

Primär- und Sekundärspule

Messungen in einer Spule mit 15 Windungen zeigen eine Verdopplung der Verlustleistung, wenn die Frequenz von 40 kHz auf 140 kHz erhöht wird.

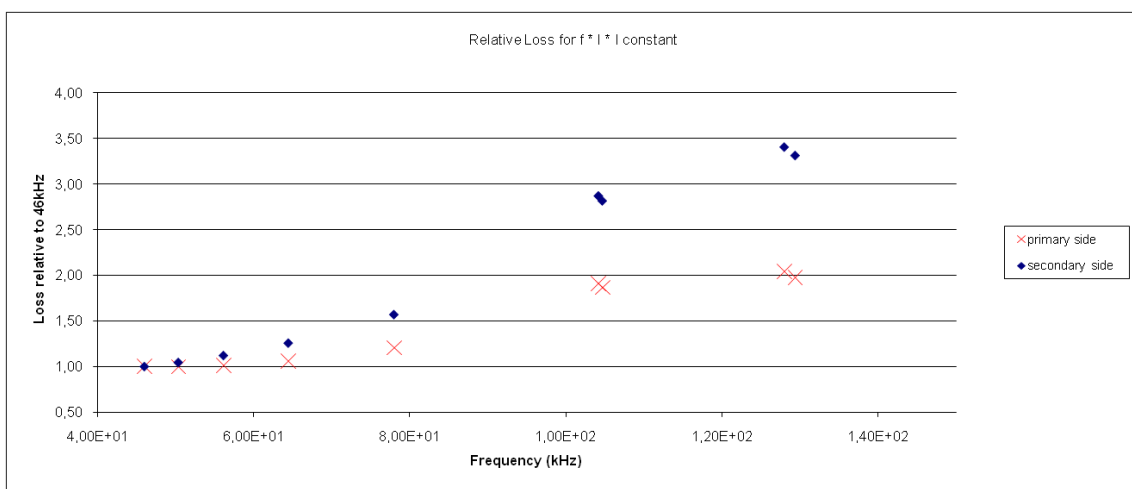


Abbildung 46: Verluste von Primär- und Sekundärspule

Folgerung:

Eine Anhebung der Frequenz von 40 kHz auf 140 kHz reduziert zwar den Primärstrom, sorgt jedoch auch dafür, dass sich die Verluste auf der Primärseite nahezu verdreifachen und auf der Sekundärseite quasi verdoppeln.

11.4 Wirkungsgrad

Aufgabe:

Messung des Wirkungsgrades bei einem 140 kHz System, wenn 3 kW übertragen werden.

Messaufbau:

Als Messaufbau dienten zwei nahezu identische Spulen mit einer quadratischen Spulengröße von ca. 700 mm. Der Inverter bestand aus einer H-Brücke. Die MOSFETS wurden mit 140 kHz beaufschlagt und bei einem Phasenwinkel von 180 Grad geschaltet.

Auf der Sekundärseite wurde eine LCL-Konfiguration mit einer Gleichrichterschaltung gewählt.

Messergebnis:

Gemessene DC-Eingangsleistung = $389.9V \times 8.5A_{dc}$ = 3314W

Gemessene DC-Ausgangsleistung = $390V \times 7.82A_{dc}$ = 3050W

Kalkulierter Wirkungsgrad = 92%

Zusammenfassung:

Der gemessene Wirkungsgrad von 92 % ist für 140 kHz sehr hoch, jedoch muss noch folgendes berücksichtigt werden:

- Der Messaufbau beinhaltet keine Power Factor Correction am Eingang des Inverters mit einem Wirkungsgrad von 96 %.
- Dem Inverter ist kein Hochfrequenzübertrager angeschlossen. Verluste liegen hier bei 0,5 bis 1 %.
- EMV wurde nicht berücksichtigt. Um die EMV-Anforderungen zu erreichen müssten ggf. die MOSFETS anders betrieben werden, was wiederum die Verluste erhöhen könnte.

Zudem muss der Einfluss der Erwärmung der Kondensatoren beim Tuning auf der Primär- und der Sekundärseite berücksichtigt werden, welcher bei den Messungen durchaus bemerkbar war.

11.5 Messung der Wirkungsgrads eines Spulensystems bei 140 kHz

Zur Ermittlung des Wirkungsgrades wurde im Labor ein Testsystem mit einer Übertragungsfrequenz von 140 kHz aufgebaut und die zwei Spulen direkt übereinander mit einem Luftspalt von 100 mm positioniert.

Messungen:

Gemessene Eingangsleistung:	3314 W
Gemessene Ausgangsleistung:	3050 W
Wirkungsgrad:	92 %
Spannung Sekundärseite:	1280 V (!!)
Spannung Primärseite:	670 V

Schlussfolgerung:

Der gemessene Wirkungsgrad von 92 % wurde erreicht ohne einen Leistungsfaktorkorrekturfilter, welcher selbst einen Wirkungsgrad von 96 % besitzt. Zudem wurde das Thema EMV bei diesem Laboraufbau nicht betrachtet, welches ebenfalls einen Einfluss auf den Wirkungsgrad haben wird.

Ein weiterer Punkt sind die auftretenden Spannungen, welche über 1000 V sein können.

11.6 Nachweis auf Basis von Simulationen

Aufgabe:

Die Erhöhung der Übertragungsfrequenz hat im Allgemeinen eine Verringerung der erforderlichen elektrischen Durchflutung, bei gleicher zu übertragender Leistung, und damit eine Verringerung der magnetischen Flussdichte zur Folge. Dem gegenüber steht jedoch die Erhöhung der Wicklungsverluste bei steigender Frequenz. Hierbei wurden zunächst die frequenzabhängigen Widerstände sowie die Induktivitäten berechnet. Die Berechnung sämtlicher elektrischer Parameter erfolgte mithilfe des T-Ersatzschaltbildes mit einer Serienresonanz auf Primär- und Sekundärseite.

Im Ergebnis wurden zunächst die erforderlichen elektrischen Durchflutungen auf Primär- und Sekundärseite berechnet. Die Dimensionierung erfolgte bei einer zu übertragenden Leistung von 3300 W und unter der Maßgabe der Gleichverteilung der Durchflutungen auf Primär- und Sekundärseite.

Ergebnis:

Wie bereits erwähnt sinkt die erforderliche Durchflutung mit steigender Frequenz. Dem gegenüber steht der Anstieg der Wicklungswiderstände bei Frequenzerhöhung. Durch Multiplikation der elektrischen Durchflutung mit dem Wicklungswiderstand ergeben sich die resultierenden Wicklungsverluste.

Die hier betrachteten Übertragungsanordnungen weisen alle ein Minimum der Wicklungsverluste im Frequenzbereich 100 – 150 kHz auf. Die kleinsten Wicklungsverluste treten bei den Übertragungsanordnungen mit großem Durchmesser auf, dies ist auf die geringe Durchflutung zurückzuführen. Allerdings steht das im Gegensatz zu dem hohen Gewicht dieser Anordnungen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Optimierung der Übertragungsfrequenz sind die Verluste in der Leistungselektronik, welche bisher noch nicht betrachtet wurden

12 Optimierungspotential Nahfeldkommunikation

Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Beim Einsatz konventioneller funkbasierender Systeme (WLAN, GSM, etc.) ist ein hoher Aufwand bei der Auslegung, der Installation und dem Betrieb zu erwarten. Außerdem sind Missbrauchsszenarien denkbar. Deshalb soll alternativ der Ansatz einer induktiven Nahfeldkommunikation untersucht werden.

Ziel: Erkenntnisse zum Einsatz induktiver Nahfeldkommunikation im Vergleich zu anderen Lösungsansätzen. Erkenntnisse zu möglichen Ansätzen induktiver Nahfeldkommunikation

12.1 Gegenüberstellung der Kommunikationsmöglichkeiten

In der nachfolgenden Tabelle sind die wichtigsten Kommunikationsmöglichkeiten dargestellt, welche beim kabellosen Laden von Elektrofahrzeugen zum Einsatz kommen könnten.

Nominal-frequenz	WLAN	Blue-tooth	Near Field	Induktiv
Verfügbarkeit	++	++	+	0
Verbreitung	++	++	+↑	0
Störbarkeit	-	-	0	++
Missbrauch	+	+	+	++
Begrenz. Reichw.	-	-	+	++
Kosten	++	++	+	+
Verwendung in Fahrzeugen	0	++	0	0
Regelkreis	-	++	++	++

Tabelle 9: Gegenüberstellung der Kommunikationsmöglichkeiten

Potential liegt in der induktiver Lösung, welche jedoch sich noch etablieren muss. Hierbei zeigt aber das erarbeitete Konzept zur induktiven Kommunikation eine gute Performance. Wesentliche Vorteile liegen in der geringen Reichweite, welche geringer als ca. 1 Meter ist. Somit ist eine Identifikation der Primärseite vor dem Ladestart durch das Elektrofahrzeug hinfällig geworden. Ein weiterer Punkt ist, dass im Gegensatz zu WLAN oder Bluetooth, der Datenverkehr sich nur dort abspielt, wo er benötigt wird und trägt, neben der Verschlüsselung der Daten, so zu einem erschwerten Abhören durch Dritte bei.

12.2 Optimierungspotential Nahfeldkommunikation, Vergleich der Lösungsansätze

Grobspezifikation für ein Funksystem, das die Kommunikation zwischen einer induktiven Ladeeinrichtung und einem Elektrofahrzeug herstellt. Es beschreibt die grundlegenden Anforderungen für die Datenkommunikation und die Nahfeldlokalisierung.

Systemeigenschaften:

A1.1 Das Energiebudget der Ladestationen soll als nicht limitiert angenommen werden. Auf dem Fahrzeug soll eine möglichst geringe Energieaufnahme angestrebt. Diese kann aber durchaus im Bereich einiger 100 mW liegen.

A1.2 Die Ladestation soll über TCP/IP an ein übergeordnetes System angebunden werden können.

A1.3 Der Datenaustausch auf dieser Ebene (vgl. A1.2) soll über HTTP_XML abgewickelt werden.

A1.4 Die Ladestation soll über einen Webserver verfügen, um ein leichtes Monitoring der Verbrauchsdaten und eine einfache Bedienung der Managementdaten zu ermöglichen.

A1.5 Das gewählte System muss zukunftssicher sein. Dies soll sowohl in Bezug auf die Verfügbarkeit der Hardwaremodule als auch in Bezug auf die Softwareschnittstellen gelten.

Grundlegende Eigenschaften der physischen Schicht (Physical Layer)

A2.1 Die Übertragungsfrequenz soll in den zukunftssträchtigen Weltmärkten für Elektrofahrzeuge lizenzfrei verfügbar sein. Dabei kann es u.U. notwendig sein, frequenzangepasste regionale Varianten zu unterstützen. Wichtig ist dabei jedoch, dass die gewählten Frequenzen für die unterschiedlichen Regionen vergleichbare Eigenschaften in Bezug auf Datenrate, Latenzzeit und Bitfehlerrate besitzen.

A2.2 Bei der Verwendung frequenzangepasster Varianten sollen die Frequenzen durch Anpassung der Firmware gewählt werden können. Hardwareänderungen sind nicht vorzunehmen.

A2.3 Die Reichweite des Kommunikationssystems soll im Freifeld etwa 300 m betragen, damit in typischen realen Umgebungen mit dämpfenden und reflektierenden Hindernissen eine Reichweite von mindestens 5 m erreicht werden kann. Anmerkung: Es wird eine solche typische Umgebung definiert.

A2.4 Die Nettodatenrate pro Übertragungsstrecke (Paarung Ladestation Kfz) soll mindestens 20 kbps betragen. Bei der Verwendung mehrerer paralleler Übertragungsstrecken muss die gesamte Übertragungsbandbreite proportional erhöht werden.

A2.5 Sowohl bei dem Funkmodul auf der Ladestation als auch bei dem Funkmodul auf dem Kfz soll die Ausgangsleistung geregelt werden können, um auf diese Weise die möglichst störungsfreie Koexistenz von möglichst vielen parallelen Systemen zu erreichen. Insbesondere ist daran gedacht, die Sendeleistung für die Kommunikation während des Ladevorgangs möglichst gering zu halten.

A2.6 Für diese Leistungsregelung soll eine Überwachung der Qualität des empfangenen Signals verfügbar sein.

A2.7 Es soll eine ausreichende Stabilität gegen extrinsische Störer mit Magnetfeldern (niederfrequent, hochfrequent) erreicht werden. Ausreichend heißt in diesem Fall, dass die in A 3.4 genannte Latenzzeit bei der in A2.4 genannten Nettodatenrate gewährleistet werden kann. Hierbei sind Magnetfelder, bzw. ihre zeitliche Abhängigkeit zu berücksichtigen. Diese werden in den Bedingungen einer typischen Umgebung beschrieben. Anmerkung: Es wird eine solche typische Umgebung definiert.

A2.8 Es soll eine ausreichende Stabilität gegen intrinsische Störer erreicht werden. Ausreichend heißt in diesem Fall, dass die in A 3.4 genannte Latenzzeit bei der in A2.4 genannten Nettodatenrate gewährleistet werden kann. Hierbei sind die in A5.4 genannten geometrischen Rahmenbedingungen zu berücksichtigen.

Grundlegende Eigenschaften der Sicherungsschicht (Data Link Layer)

A3.1 Es soll eine n:1-Kommunikation unterstützt werden. Ein Modul auf der Ladestation soll mit mehreren Kfz kommunizieren können. Eine Kommunikation zwischen Ladestationen sowie zwischen Kfz soll im Rahmen dieses Protokolls nicht unterstützt werden. Ein Datenaustausch zwischen diesen Instanzen soll im Rahmen weitergehender Protokolle (Car-2-Car-Communication (C2C), Ladestation-zu-Ladestation) ermöglicht werden.

A3.2 Ein Kfz soll immer nur mit einer Ladestation gleichzeitig kommunizieren. Dabei soll es aber möglich sein, dass das Kfz verschiedene Ladestationen durchscannt und eine Übersicht der sichtbaren Ladestationen an die Anwendung auf dem Kfz gibt.

A3.3 Die Zahl der Kfz, mit der eine Ladestation gleichzeitig kommunizieren kann, soll nicht größer als 10 sein. Dabei soll davon ausgegangen werden, dass eine Ladestation immer nur mit einem Kfz einen Ladevorgang durchführen kann. Es soll aber auch während dieser Zeit möglich sein, mit weiteren Kfz zu kommunizieren, z.B. um die Dauer bis zum Abschluss des Ladevorgangs mitzuteilen.

A3.4 Die Übertragungszeiten von der Anwendung auf der Ladestation zur Anwendung auf dem Kfz sollen in den typischen Umgebungen für ein Datenpaket von 64 Byte unter 100 ms liegen.

12.3 Induktive Kommunikation über Energiespulen

Mit bestehenden einfachen Mitteln soll versucht werden, eine Datenkommunikation zwischen zwei Energiespulen (primär/sekundär) mittels der induktiven Datenübertragung herzustellen.

Schlussfolgerung:

Die Übertragung verlief zufriedenstellend. Die Übertragungsrate erreicht bis zu 15 Mbit/s NETTO, wenn die Spulen übereinander sind. Auch bei einem Offset von 3 Metern war noch eine Übertragung möglich (ca. 2.5 Mbit/s), was auf eine kapazitive Kopplung hinweist.

Tests mit laufendem Track Supply haben gezeigt, dass die Datenübertragung auf derselben Spule nicht möglich ist. Die Oberwellen haben einen großen Einfluss auf das Datensignal und wirken störend.

12.4 Induktive Kommunikation über separate Spulen

Die induktive Datenübertragung – direkt über die Ladespulen – war bei laufendem Track Supply nicht erfolgreich. Deshalb wurde nun versucht, die Daten über separate Spulen zu übertragen.

Schlussfolgerung:

Die Übertragung verlief zufriedenstellend. Die Übertragungsrate erreicht bis zu 17 Mbit/s (Netto), wenn die Spulen übereinander sind. Allerdings strahlen die Spulen so ab, dass eine Kommunikation auch dann möglich ist, wenn sie nicht mehr übereinander platziert sind. Dies sollte aber vermieden werden, in Betracht auf benachbarte Ladestationen.

Bei eingeschaltetem Track Supply verringert sich der Datendurchsatz. Dabei ist zu erkennen, dass die Kommunikation bei Verschiebung der Sekundärspule abbricht.

Deshalb musste ein Kompromiss gefunden werden, dass die Übertragung

- bei ausgeschaltetem Track Supply nur im definierten Toleranzbereich und

- bei eingeschaltetem Track Supply auch bei Verschiebung im Toleranzbereich funktioniert.
Ohne Track Supply funktionierte die Übertragung, bis sich die Spulen nicht mehr überlappen.

12.5 Kommunikation mit Transponder ohne Track Supply

Mit bestehenden einfachen Mitteln soll versucht werden, eine Datenkommunikation zwischen zwei Ladespulen (primär/sekundär) herzustellen.

Schlussfolgerung:

Der Transponder-Code wurde korrekt und zufriedenstellend von der Guidance-Antenne erkannt.

Weitere Tests folgen mit der realen 3kW-Einspeisung.

12.6 Kommunikation mit Transponder

Mit einem Testaufbau soll die Kommunikation mit eingeschaltetem Track Supply getestet werden. Für diesen Test war nur die Datenrichtung Sekundärspule -> Primärspule zu betrachten, dafür wurden die bestehenden iDAT-Geräte Positionsmarke und Guidance-Antenne verwendet.

Schlussfolgerung:

Vom Track Supply gehen Störungen der Oberwellen aus, die im Frequenzbereich des Transpondersignals liegen. Es muss noch evaluiert werden, ob diese Oberwellen im zulässigen Bereich liegen. Theoretischen Berechnungen zufolge sei dies der Fall. Somit müsste die Kommunikationsfrequenz geändert (erhöht) werden oder das Transpondersignal so verstärkt, dass die Störungen keinen Einfluss mehr haben.

Grundsätzlich funktioniert die Übertragung von Spule zu Spule. Nähert sich das Fahrzeug der Ladespule, ist noch kein IPT-Magnetfeld vorhanden, deshalb könnte diese Lösung für den Demonstrator verwendet werden. Soll während des Ladevorgangs Daten übertragen werden, muss diese Lösung verbessert werden.

A3.5 Wenn das Datenpaket nicht innerhalb der in A3.4 genannten Zeit übertragen werden kann, dann soll eine Nachricht (sap.indication) an die Anwendungsschicht gereicht werden.

A3.6 Die Kfz sollen sich bei einer Ladestation automatisch anmelden. Diese Anmeldung soll erst dann erfolgen, wenn das Positionierungssystem mitteilt, dass eine bestimmte Entfernung unterschritten wurde (z.B. 50 cm).

A3.7 Die Ladeeinrichtung ist gegen Missbrauch zu sichern. Der Ladevorgang ist nicht zu starten, wenn das Kfz nicht angemeldet werden kann.

A3.8 Die übertragenen Daten sollen nach der Anmeldung eines Kfz bei einer Ladestation mit einem sicheren Verfahren, wie z.B. AES256, verschlüsselt werden.

A3.9 Die kryptographischen Schlüssel sollen manuell ausgetauscht werden.

A3.10 Die Schlüssel sollen dynamisch erzeugt und ausgetauscht werden.

A3.11 Es ist zu gewährleisten, dass die Kfz-Einheit nur zusammen mit dem registrierten Kfz funktioniert. Außerhalb des dazugehörenden Kfz ist die Funktion einzustellen.

13 Grundlagen Initiierung und Durchführung Ladebetrieb in Interaktion mit Fahrzeug und Netzversorgung

Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Um den Betrieb der induktiven Ladepunkte möglichst effizient zu gestalten sollten diese, wenn kein Ladevorgang stattfindet, ggf. ausgeschaltet werden können. Außerdem kann das System ggf. effizienter gestaltet werden, wenn es so ausgeführt wird, dass eine bedarfsorientierte Leistungsvariation möglich ist. Hierfür sind verschiedene Ansätze zu untersuchen und zu bewerten. Hier ist insbesondere die induktive Nahfeldkommunikation weiter zu untersuchen bzw. zu berücksichtigen.

Ziel: Lösungsansätze zur Initiierung von Ladevorgängen und zur Optimierung des kabellosen Ladevorgangs.

Ergebnis

Die Initiierung des Ladebetriebs wird durch das Fahrzeug mittels eines Aufwecksignals ausgeführt. Dieses Aufwecksignal wird bei einer bestimmten Geschwindigkeit, welche auf ein Parkieren schließen lässt, vom Fahrzeug stetig gesendet, bis die stationäre Seite dieses Signal empfängt und den sich für den Ladevorgang vorbereitet. Ist das Fahrzeug gut über der stationären Ladespule positioniert und ist das Fahrzeug bereit, die Batterie zu laden, erfolgt über die Kommunikation der Start des Ladevorgangs. Somit wird durch den Einspeisekonverter und der stationären Ladespule ein Magnetfeld aufgebaut, durch welches sie Energie auf das Fahrzeug übertragen wird.

Ist die Batterie geladen bzw. wird der Ladevorgang durch den Fahrzeugnutzer abgebrochen, wird durch die Kommunikation eine Information an die stationäre Seite geschickt, die daraufhin den Ladevorgang beendet.

14 Verifikation elektromagnetische Verträglichkeit

Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Die internen EMV-Messungen sollen durch externe Messungen (2x) in einem akkreditierten Labor verifiziert werden.

Ziel: Verifizierung der internen EMV-Messungen

Ergebnisse

Mit dem 2. Testsystem (Bau Testsysteme unter Berücksichtigung der aktuellsten Erkenntnisse) wurde eine EMV-Messung am Laborsystem gemacht, d.h. das kabellose Ladesystem war nicht im Fahrzeug eingebaut.

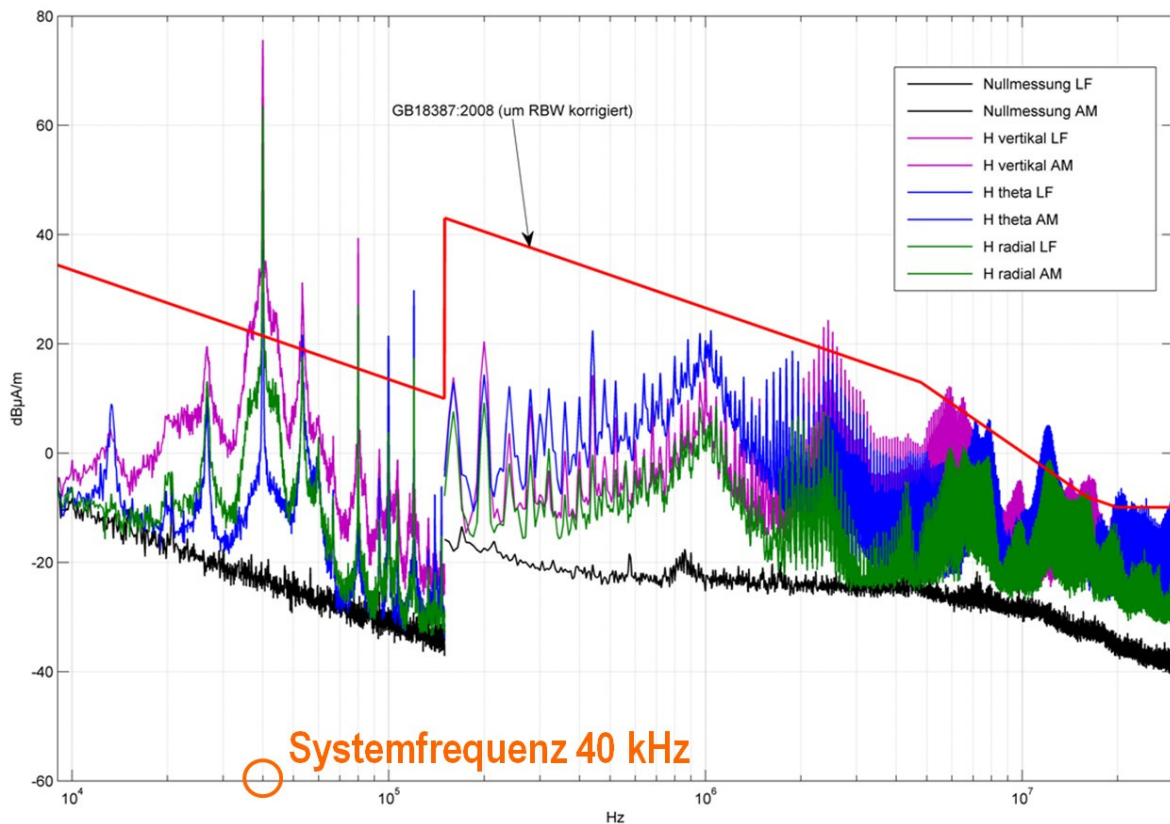


Abbildung 47: Magnetisches Feld in 3 m Abstand

Die dargestellte Grenzwerte beziehen sich auf den chinesischen Standard GB/T 18387-2008 „Limits and Test Method of Magnetic and Electric Field Strength from Electric Vehicles, Broadband, 9 kHz to 30 MHz“ für Elektrofahrzeuge. Man erkennt kritische schmalbandige Überschreitungen durch Grundtakt und Oberwellen des kabellosen Ladesystems. Es ist zu berücksichtigen, dass die Lage des Einspeisekonverters einen geringfügigen Einfluss auf das abgestrahlte Feld hat.

Diese Ergebnisse sind in der Entwicklung des 3. Testsystems mit eingeflossen, wodurch sich das EMV-Verhalten deutlich verbessert hat.

15 Begleitforschung Technologiefolgenfälle

Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Durch den Einsatz induktiver Übertragungslösungen wird es Abweichungen zu Stecker basierenden Ladelösungen geben (Netzeffekte, etc.) außerdem wird sich das Nutzerverhalten ändern, was wiederum zu Effekten auf der Technologieseite führen kann bzw. wird.

Ziel: Erkennen der Auswirkungen und frühzeitige Berücksichtigung bei der Umsetzung noch anstehender Arbeitspakete. Außerdem Aufbau entsprechender Argumentationsketten.

Ergebnisse

Die Nutzung der Elektromobilität insbesondere zur Integration erneuerbarer Energien in das elektrische Netz setzt eine sorgfältige Analyse der dadurch entstehenden Netzeinflüsse voraus, auch beim kabellosen Laden. Hierbei ist es wichtig die Wechselwirkung zwischen Energieversorgung und dem Verkehr darzustellen.

Das induktive Laden ist nicht als Alternative zu Home- oder öffentlichen Niederspannungs Ladestationen zu sehen, sondern ist eine bestimmte Ausprägung. Anstatt des Steckers oder zusätzlich dazu bietet induktives Laden die Möglichkeit, das Fahrzeug automatisiert, also ohne Eingriff des Fahrers, und somit komfortabler und vandalismussicherer ans Netz zu bringen. Durch induktives Laden steigt die Wahrscheinlichkeit, dass ein Fahrzeug (vor allem beim Home-Charging) mit dem Netz verbunden ist. Dadurch ist das Potenzial, das Elektroauto über Vehicle-to-Grid-Anwendungen für Netzdienstleistungen zu nutzen, besser nutzbar.

Die Lastgänge auf dem Verteilnetz bestehen zum einen aus charakteristischen Lasten und Einspeisungen und zum anderen aus den typischen Fahrmustern der Elektrofahrzeuge. Hierzu ist eine umfassende Analyse des Verkehrsaufkommens, wie die Parkraumnachfrage, notwendig. In der Einführungsphase der Elektromobilität wird der Ladeprozess überwiegend am Wohnort stattfinden, und weniger an öffentlichen Ladeplätzen. Dabei kann man davon ausgehen, dass die meisten Fahrzeuge nach der Heimfahrt zwischen 16 Uhr und 19 Uhr geladen werden, also sofort nach Ankunft. Dies hat zur Folge, dass die Ladelast am Netz von den Elektrofahrzeugen abhängig ist und auch in dieser Zeit das Maximum erreicht. Würde man nun mit höheren Ladeleistungen als 3 kW laden, würde dies bedeuten, dass der Ladelastverlauf aufgrund der schnell zu 100 % geladenen Batterie schon kurz nach der Ankunft am Wohnort einen erheblichen Peak aufweisen würde. Dies verhält sich bei geringen Ladeleistungen anders. Kleinen Ladeleistungen, z.B. 1 kW, führen aufgrund der längeren Ladedauer zu einer Abflachung der Ladelastkurve. Erhöht man die Ladeleistung sinkt die Ladedauer. Dies hat ebenfalls zur Folge, dass weniger Fahrzeuge gleichzeitig laden, und somit die Ladelastspitze nicht proportional mit der Ladeleistung zunimmt. Insbesondere führt eine höhere Ladeleistung, z.B. 22 kW, zu einer verhältnismäßig geringen Zunahme der Gesamtlast, da die Anzahl der parallelen Ladeprozesse hierbei annähernd umgekehrt proportional zur Ladeleistung ist.

Die Verteilnetze können sich erheblich durch ihre durchschnittliche Transformatorleistung je Haushalt unterscheiden. In einem Netz mit vielen Hausanschlüssen sind der Spitzenlastanteil und deswegen auch die Transformatorleistung je Verbraucher infolge des höheren Gleichzeitigkeitsfaktors geringer als in Netzen mit wenigen Hausanschlüssen. Durch die Überlagerung der Ladeprozesse elektrischer Fahrzeuge kann es sowohl zu überhöhten Beanspruchungen der Verteilnetze kommen. Solche wären die Verletzung thermischer Grenzleistungen der Kabel und Spannungsbandverletzungen, welche mit zunehmenden Ladeleistungen gravierender werden.

Die geplante und gezielte Nutzung der Elektromobilität als Zwischenspeicher für erneuerbare Energien kann aufgrund der nicht vorhersagbaren und nahezu kaum planbaren Einspeisung dieser Energien ein mit der Verteilnetzlast unkorreliertes Verhalten hervorrufen und dadurch vermehrt Grenzwertverletzungen insbesondere in Verteilnetzen der Niederspannungsebene verursachen.

Zur effizienten Nutzung vorhandener Netzkapazitäten ist es notwendig eine gezielte Beeinflussung der Ladezeitpunkte sowie Ladeleistungen in Abhängigkeit netztechnischer Gegebenheiten zu entwickeln. Aus diesem Grund bietet es sich an, ein vollautomatisiertes Ladesystem zu erstellen, welches mit dem jeweiligen Energieversorger ständig in Verbindung steht, um ein für den Fahrzeugnutzer geeignetes freies Leistungsfenster anzubieten, welches sowohl erneuerbare Energien als auch einen günstigen Preis anbietet. Somit ist es möglich, dass die Fahrzeuge nicht direkt nach der Ankunft am Wohnort geladen werden, sondern je nach Abmachung mit dem Energieversorger. Dies hat auch den Vorteil, dass erneuerbare Energien, wie die Windenergie, welche auch nachts Energie erzeugt, wenn weniger Strombedarf ansteht, zum Laden der Fahrzeuge verwendet werden kann. Hierbei ist es nur notwendig, dass der Fahrzeugnutzer dem Energieversorgungsunternehmen mitteilt, wann er eine zu 100 % geladene Batterie in seinem Fahrzeug haben möchte.

Betrachtet man die Penetrationsrate der Elektrofahrzeuge von 8 % für das Jahr 2025, welches auch eine Prognose der Bundesregierung widerspiegelt, ist eine gezielte aktive Beeinflussung der Lade-

bzw. Entladevorgänge unabdingbar. Um die damit verbundenen netztechnischen Auswirkungen zukünftig abmildern und gezielt das Potential als Zwischenspeicher nutzen zu können, sind Netzanschlussbedingungen sowie Steuerungsmechanismen zu definieren.

Wie oben erläutert kann ein Lademanagement zur Optimierung des Netzbetriebs beitragen. Dies umfasst die Abnahme von Erzeugungsspitzen und die Balancierung von Erzeugungs- und Lastkurven, welche für den Ausbau fluktuierender erneuerbarer Energien zunehmend bedeutsam ist, aber auch die Bereitstellung von Regelleistung zur Frequenz-/Spannungsregelung und zur Blindleistungskompensation.

16 Grundlagen Rückspeisung

Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Bisher ist das Rückspeisen, d.h. die Nutzung der Fahrzeugbatterien als dezentrale Speicher, kein explizites Thema bei der induktiven Ladung. Allerdings ist angesichts der Diskussion in anderen Bereichen davon auszugehen, dass sie zum Thema werden wird. Deshalb sollen hier Lösungsansätze untersucht und bewertet werden.

Ziel: Ermittlung des Standes der Technik und möglicher Ansätze. Untersuchung, Bewertung und ggf. erste Realisierungen im Laboraufbau.

Ergebnisse

Betrachtet man die Verwendung der heute vorhandenen Fahrzeuge, so fällt auf, dass sie nur einen Bruchteil der Zeit genutzt werden. Würden diese Fahrzeuge nicht konventionell mit einem Verbrennungsmotor angetrieben, sondern elektrisch versorgt, so entstünde durch die in den Elektrofahrzeugen vorhandenen Energiespeicher eine immense Kapazität, die für einen Großteil der Zeit frei verfügbar wäre. Für die folgende Betrachtung einer möglichen Rückeinspeisung ist es jedoch wichtig, dass es sich bei dem Elektrofahrzeug nicht um ein kontinuierlich versorgtes Fahrzeug mit elektrischem Antrieb handelt, analog etwa zu einer Straßenbahn, sondern um ein elektrisch angetriebenes Fahrzeug, das sich durch einen vorhandenen Energiespeicher in gewissem Maße autonom bewegen kann.

Die oben erwähnte Kapazität zur Speicherung von Energie durch ungenutzte Elektrofahrzeuge fehlt in den vorhandenen Stromversorgungsnetzen, die keine nennenswerten Speichermöglichkeiten besitzen. Sie wird jedoch zur Regelung der Netzfrequenz bei temporär auftretenden Verbrauchsspitzen bzw. als Ersatz für durch Defekt ausgefallene Energielieferanten. Die gelieferte Energiemenge der elektrischen Versorgung wird momentan kontinuierlich der geforderten Energie angepasst.

Mit der Idee einer Rückeinspeisung der in der Energiespeicher der Fahrzeuge vorhandenen Energie in die Stromversorgungsnetze ergibt sich daraus ein Szenario, was unter dem Begriff des „Vehicle-to-Grid“ (Abkürzung: V2G) zusammengefasst wird. Hierbei handelt es sich um die bidirektionale Anbindung von Elektrofahrzeugen in Zeiten der Nichtbenutzung an das Stromnetz, so dass sowohl ein Laden des fahrzeugeigenen Energiespeichers, als auch eine Rückspeisung in das Stromnetz bei entsprechendem Bedarf denkbar wäre.

Ein Interesse an der Rückeinspeisung ist nicht nur aus Sicht der Energieversorgungsunternehmen leicht verständlich, die in V2G eine kostengünstige Möglichkeit sieht temporär auftretende Energiespitzen zu bedienen. Auch für die Branche der regenerativen Energien ergeben sich neue Chancen, da die schwankenden Energieproduktionen von z.B. Solar- oder Windenergie nicht nur zum Zeitpunkt der Produktion zur Verfügung stünden, sondern durch die Möglichkeit einer Speicherung unabhängig vom Produktionszeitpunkt genutzt werden könnten.

Aber auch im wesentlich kleineren Rahmen nämlich für den Besitzer eines Elektrofahrzeugs selbst ergeben sich leicht ersichtliche Vorteile: so könnte mit Hilfe des vorhandenen Energiespeichers Elektrofahrzeug im Falle eines Ausfalls des Versorgungsnetzes das eigene Fahrzeug zur Versorgung des Haushalts, der Arbeitsstätte etc. dienen.

Bei einer Betrachtung von Elektrofahrzeugen mit vorhandenem Energiespeicher müssen im wesentlichen zwei unterschiedliche Kategorien berücksichtigt werden, die sich vor allem durch die Kapazität des Energiespeichers unterscheiden.

Beiden Kategorien gemeinsam ist jedoch ein Elektromotor, ein Energiespeicher und Leistungselektronik, die aus der vorhandenen Gleichspannung eine entsprechend geregelte Wechselspannung zum Betrieb des Motors erzeugt. Somit sind bereits alle zur Rückeinspeisung in ein Versorgungsnetz benötigten Teile vorhanden, es müssen nur noch entsprechende Modifikationen für eine bidirektionale Verwendung gemacht werden.

Die erste Fahrzeugkategorie ist die Kategorie der Hybridfahrzeuge. Ein Hybridfahrzeug verwendet einen Verbrennungsmotor, der einen Generator antreibt, wodurch die nötige elektrische Energie für einen elektrischen Antrieb des Fahrzeugs erzeugt wird. Der Verbrennungsmotor läuft normaler Weise an optimalen Arbeitspunkt, so dass der Verbrauch des Verbrennungsmotors optimiert wird (sogenannter Range Extender). Entsprechend ist in dieser Fahrzeugkategorie ein vergleichsweise kleiner Energiespeicher verbaut, der im wesentlichen dazu dient nicht benötigte Energie des Generators zwischen zu speichern.

Erste Hybridfahrzeuge verwendeten den Energiespeicher und den Elektromotor / die Elektromotoren sogar nur um beim Bremsen gewonnene Energie zu speichern und beim Beschleunigen wieder abzugeben. Es ist leicht ersichtlich, dass diese Fahrzeugkategorie im Bezug auf Rückspeisung in das Versorgungsnetz auf Grund der geringeren Kapazitäten der Energiespeicher eine untergeordnete Rolle spielen wird.

Die andere Fahrzeugkategorie ist die Kategorie der rein elektrisch versorgten Fahrzeuge. Sie verwenden einen erheblich größeren Energiespeicher, da er die einzige Energiequelle zum Erreichen einer gewissen Reichweite des Fahrzeugs ist. Diese Eigenschaft macht diese Fahrzeugkategorie wesentlich attraktiver für eine Rückspeisung der vorhandenen Energie in das Versorgungsnetz.

Generell ist eine Betrachtung der Lasten im Versorgungsnetz nötig, um die durch Rückeinspeisung entstehenden Möglichkeiten genauer abzugrenzen.

Die Last, die über den Tag verteilt anliegt wird gewöhnlich in drei Bereiche eingeteilt:

- 1) Grundlast
- 2) Mittellast
- 3) Spitzenlast

Als Grundlast wird die Last bezeichnet, die kontinuierlich vorliegt, unabhängig von Tageszeit. Die Grundlast ist vergleichsweise einfach bestimmbar und ihre Versorgung wird durch sogenannte Grundlastkraftwerke (z.B. Atomkraft- und Laufwasserkraftwerke) gesichert, die zwar hohe Investitionskosten zum Aufbau, über den weiteren Lebenszyklus jedoch geringe Betriebskosten besitzen. Ein Zuschalten eines Grundlastkraftwerkes ist zumeist recht zeitintensiv, eine Regelung der unterschiedlichen Belastung im Tagesverlauf also nicht sinnvoll.

Mittellast bezeichnet die den Bereich der Last, der über die Grundlast hinaus geht, sich aber immer noch im vorhersehbaren Bereich der Belastung befindet. So ist z.B. ein Lastanstieg zur Mittagszeit der Mittellast zuzurechnen, da zu dieser Zeit viele Elektroherde betrieben werden. Die Investitionskosten sind geringer als bei den Grundlastkraftwerken, die Betriebskosten jedoch höher.

Als Spitzenlast wird die Last bezeichnet, die über Grund- und Mittellast hinaus geht und nicht mehr berechenbar ist. Um die Spitzenlast aufzufangen werden flexible Kraftwerke benötigt, die schnell zugeschaltet werden können. Gewöhnlich haben sie nur geringe Betriebszeiten, weshalb geringe Investitionskosten wichtig sind und höhere Betriebskosten in Kauf genommen werden.

Auf Grund der geringen Betriebszeiten und der geforderten Flexibilität wäre ein Einsatz der Rückspeisung aus den Energiespeichern der Elektrofahrzeuge denkbar, auch wenn sie möglicher Weise nur zum Teil die Spitzenlast versorgen könnte.

Die Möglichkeit zur schnellen Leistungsanpassung für den Fahrbetrieb bei einem Elektrofahrzeug schafft jedoch auch noch die Voraussetzung für eine weitere Aufgabenstellung. Werden je nach Last Kraftwerke zu- oder abgeschaltet entstehen im Versorgungsnetz Schwankungen, die zeitnah ausgeglichen werden müssen. Da es sich hierbei sowohl um Aufnahme von Energie aus dem Versorgungsnetz beim Zuschalten eines Kraftwerkes bis dessen Regelung greif, als auch um Abgabe von Energie in das Versorgungsnetz beim Abschalten eines Kraftwerkes, ist ein Elektrofahrzeug mit Rückeinspeisung prädestiniert in solchen Fällen als Zwischenspeicher zu dienen.

Neben der rein technischen Realisierung der bidirektionalen Anbindung von Elektrofahrzeugen an das Versorgungsnetz ergeben sich jedoch noch weitere Schwierigkeiten, die vor einer oben beschriebenen Nutzung als Energiepuffer / -speicher gelöst werden müssen.

Zum einen muss gewährleistet sein, dass sich der Energiespeicher Elektrofahrzeug in den Zeiten der Nichtbenutzung überhaupt Verbindung zum Versorgungsnetz besitzt, so dass eine Rückspeisung überhaupt möglich wird. Das wiederum bedeutet, dass Stellen wie z.B. Arbeitsplatz, Parkhaus aber auch vor dem eigenen Haus eine entsprechenden Ladestation vorhanden sein muss, die entsprechende Lade- / Entladeleistungen des Elektrofahrzeuges bewältigen kann.

Zum anderen muss eine Kontrolle der Ladezeit, Ladezeitpunkt und Ladedauer erfolgen, um den eine zusätzliche Lasterhöhung im Versorgungsnetz zu vermeiden. So ist es wenig sinnvoll den Ladevorgang des Elektrofahrzeugs in einer zur Zeit der Spitzenlast vorzunehmen. Dies sollte vornehmlich in Zeiten in denen der Energieverbrauch vergleichsweise gering ist (z.B. in der Nacht).

Hier ergibt sich natürlich ein Zwiespalt zwischen den Vorstellungen der Energieversorgungsunternehmen und den Fahrern der Elektrofahrzeuge: das EVU möchte sich zu jeder Zeit auf die mögliche Leistung von V2G verlassen können, während die Fahrer der Elektrofahrzeuge keine Flexibilitäts- bzw. Mobilitätseinbußen erfahren wollen. Um jedoch nicht die Mobilität / Flexibilität des Einzelnen einzuschränken, indem das Elektrofahrzeug z.B. nur in der Nacht geladen werden kann und die Fahrt am Tag deshalb nicht mehr möglich ist, weil der Energiespeicher nicht mehr genügend Ladung aufweist, ist eine Kontrolle der Ladevorgänge durch eine übergeordnete Kontrollinstanz nötig.

17 Bau eines induktiven Ladesystems für den Fahrzeugdemonstrator

Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Für den Einsatz im Fahrzeugdemonstrator soll ein Aufbau auf dem aktuellsten bzw. abgestimmten Stand realisiert werden. Ein zweiter Aufbau auf diesem Stand soll für interne Zwecke realisiert werden.

Ziel: Fortführung der Arbeiten an einem aktuellen Aufbau und Verfügbarkeit eines Aufbaus für den Fahrzeugdemonstrator

Ergebnisse

Die aktuellsten Erkenntnisse, welche im Laufe des Projektes seit dem Bau des 2. Testsystems gewonnen wurde, wurden in dem Testsystem implementiert und die Fahrzeuge bei Daimler angepasst. Dabei flossen folgende Optimierungen in das Gesamtsystem mit ein:

- Optimierung der Positionierung – Rückwärtsparken möglich
- Kommunikation zwischen Fahrzeug und stationärer Einheit
- Anbindung fahrzeugseitige Kommunikation an den CAN-Bus
- Einbindung Objekterkennung von metallischen Gegenständen
- Konstruktion und Installation einer stationären Ladeeinheit für den Außenbereich
- Optimierung Aufwecksignal zum Starten des Ladeprozesses
- Einbindung Komponenten zur induktiven Energieübertragung in die jeweiligen Spulen
- Optimierung EMV-Verhalten der Komponenten und im Zusammenspiel
- Wirkungsgradoptimierung >90 %

Das induktive Ladesystem in diesem Fahrzeug und einem zweiten Fahrzeug wird dort ausgiebig unter alltagstauglichen Bedingungen getestet.

18 Auswertung der Erkenntnisse aus dem Betrieb des Fahrzeugdemonstrators

Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Im Rahmen des Einsatzes der induktiven Ladung auf dem Demonstratorfahrzeug sind verschiedene Erkenntnisse zu erwarten, die relevant für eine spätere Produktentwicklung sein werden. Diese sollen gewonnen und dokumentiert werden.

Ziel: Dokumentation der aus dem Probetrieb gewonnenen Erkenntnisse

Ergebnisse

Der Betrieb der Fahrzeugdemonstratoren zeigt, dass es möglich ist, den Betrieb eines Elektrofahrzeugs mit dem kabellosen Laden aufrecht zu erhalten. Mit der bisher zur Verfügung stehenden Technik, kann eine Batterie, welche einen SOC von 20 % hat, wieder auf 100 % geladen werden. Dabei startet der Ladevorgang, sobald das Fahrzeug eine gewisse vordefinierte Geschwindigkeit unterschritten hat und ein Aufwecksignal sendet und dieses von der stationären Ladeeinheit erkannt wurde. Auch das Positionieren des Fahrzeugs und damit der Sekundärspule über der Primärspule kann erfolgreich dargestellt werden. Allerdings hat sich auch abgezeichnet, dass man mit etwas Übung problemlos über der stationären Spule parken kann und man die Positioniereinheit nur als Information für die Übertragungsqualität benötigt.

Aber dennoch haben die Erkenntnisse aus dem Betrieb der Fahrzeugdemonstratoren gezeigt, dass noch weiter ein Bedarf an F&E besteht, um aus den Prototypen ein Produkt zu entwickeln. Hierbei sind nur einige Punkte zu nennen, wie Sicherheit, wie Erkennung von Lebewesen, Materialforschung zur Reduzierung von Gewicht und Baugröße auf der Fahrzeugseite, Optimierung der Elektronik zur Verbesserung des Wirkungsrades, Interoperabilität zu anderen kabellose Ladesystemen und die Netzintegration.

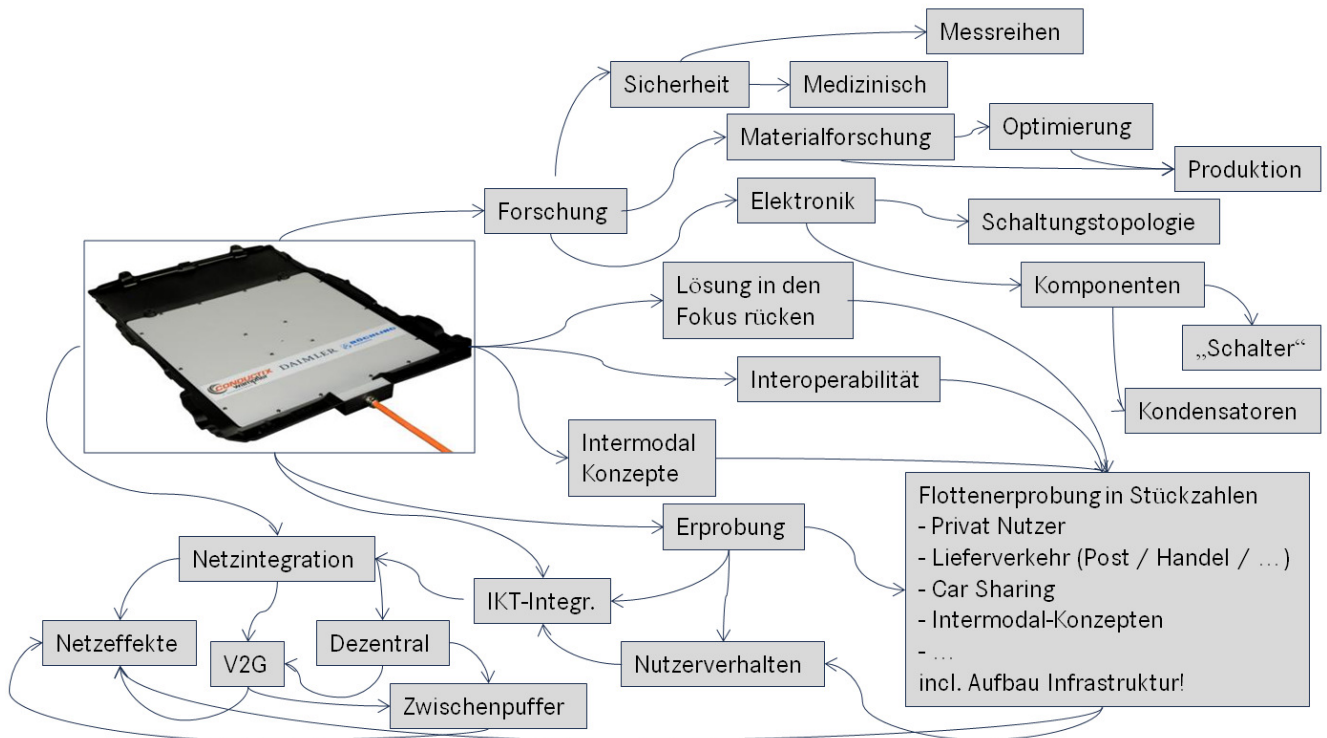


Abbildung 48: Übersicht F&E-Bedarf

19 Grundlagen elektromagnetisch aktiver Unterboden

Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Grundlagenforschung zu geschlossenem Aufbau einer elektromagnetisch aktiven und flussformgebenden Unterbodenverkleidung unter Gesichtspunkten wie Bauraum, Kosten, Gewicht (Leichtbau), automatisierbare Herstellbarkeit, Wärmeintrag, elektromagnetische Transmission bei uneingeschränkter Funktionalität hinsichtlich Aerodynamik, Akustik, Wärmedämmung, Wasseraufnahme usw.

Ziele:

- Die Geometrie der Unterbodenverkleidung und die Belastungsparameter wurden definiert
- Ein Aufbau, der die elektromagnetischen Komponenten enthält

Ergebnisse

Eine Unterbodenverkleidung (UBV) aus Kunststoff zur Verringerung des Luftwiderstandes sowie zum Schutz des Fahrzeuges vor Steinschlag befindet sich in nahezu jedem PKW. Anforderungen bestehen hier hinsichtlich Akustik, Gewicht und Preis. Im Rahmen des Forschungsprojektes liegt der Fokus zudem auf der Integration der Sekundärspule in die Unterbodenverkleidung. Die Belastungsanforderungen sind mit denen an klassische Unterbodenverkleidungen vergleichbar, sodass auch hier das Pressverfahren angewendet wird.

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde der Bauraum unter der Vorderachse des Versuchsträgers auf Basis der Mercedes-Benz B-Klasse (T245) zum Einbau der Ladespule festgelegt. Die Konstruktion wurde in Anlehnung an die Serienunterbodenverkleidung gestaltet.

Grundlagen magnetisch leitfähiger Materialien

Die magnetische Leitfähigkeit eines Stoffes, auch als Permeabilität bezeichnet, wird in erster Linie durch den Sättigungspunkt bestimmt, an dem die magnetische Induktion (B) maximal ist. Ferner ist die notwendige Energie zur Ummagnetisierung durch das Wechselfeld von großer Bedeutung. Bei weichmagnetischen Stoffen, die hier zum Einsatz kommen, sollte diese möglichst klein sein, die Hysteresekurve somit sehr eng und steil.

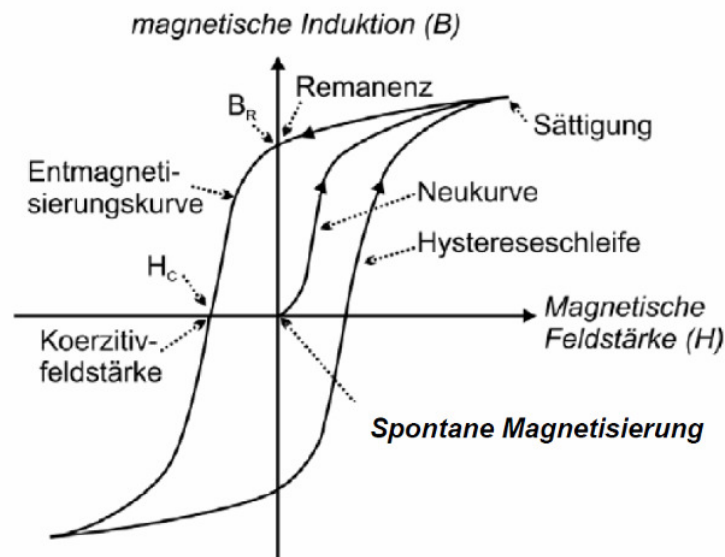
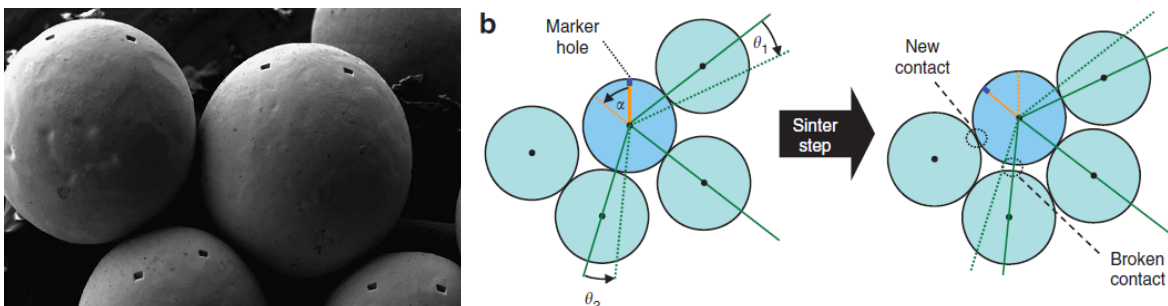


Abbildung 49: Magnetische Induktion

Der Quotient aus magnetischer Induktion (B) und magnetischer Feldstärke (H) bestimmt die spezifische magnetische Leitfähigkeit (μ_r) eines Stoffes. Ferrit erhält durch den Vorgang des Sinterns, bei Temperaturen bis 1200°C und definiertem Sauerstoffgehalt seine sehr guten magnetischen Eigenschaften. Die Vorgänge auf Molekülebene sind hierbei noch nicht gänzlich erforscht, wie die Veröffentlichung „Cooperative material transport during the early stage of sintering“ im Journal „Nature“ vom Mai 2011 belegt. Nachfolgende Abbildung zeigt Ferritpartikel und ihre Relativbewegung im Sinterprozess.



Quelle: Grubb et al.. Cooperative material transport during the early stage of sintering. Publication in Nature 03.05.11

Abbildung 50: Ferritpartikel und ihre Relativbewegung im Sinterprozess

Klassische induktive Ladungssysteme werden mit gesinterten Ferritplatten zur magnetischen Flussführung aufgebaut. Diese massiven Platten mit geringer Bruchdehnung und hoher Dichte tragen mehrheitlich zum Gewicht im aktuellen Aufbau bei und sind aufgrund ihrer Bruchanfälligkeit nur bedingt für den Fahrzeugeinsatz geeignet.

Ein Forschungsschwerpunkt bestand daher in der Substitution der gesinterten Ferritplatten durch mit Ferritpulver hochgefüllte Kunststoffe, wie im Arbeitspaket 20 ausführlich beschrieben.

20 Materialaufbau für elektromagnetisch aktive Unterbodenverkleidungen

Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Materialforschung zu Materialaufbau hinsichtlich semitransmissiven Eigenschaften mit maximale Abschirmung zum Fahrzeug hin und maximaler Gleichverteilung zum Boden hin

Ziel: Modifikationsmöglichkeiten eines gewählten Materialaufbaus zur Verbesserung der elektromagnetischen und sonstigen notwendigen Eigenschaften

Ergebnisse

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden Versuche zur Herstellung magnetisch wirksamer Compounds mit folgenden Alternativ-Materialien durchgeführt:

Unterschiedliche Ferritpulverrezepturen (Mn,Zn)Fe₂O₄

Ferritpulver wird aus gesintertem Ferritmaterial hergestellt und kann in diesem Prozess unterschiedliche Behandlung erfahren. Erforscht wurden in diesem Schritt unterschiedliche Rezepturen verschiedener Ferrithersteller.

Hierzu wurden Versuche mit einer Suspension aus Ferritpulvern und Silian/Ethanol durchgeführt und im Ultraschallverfahren zu Materialproben verarbeitet. Das verwendete Silian vernetzt sehr stark, wodurch mit einer geringen Menge an Bindestoff eine sehr homogene Ferritmasse hergestellt werden kann. Das nachfolgende Bild symbolisiert den Vorgang der Vernetzung.

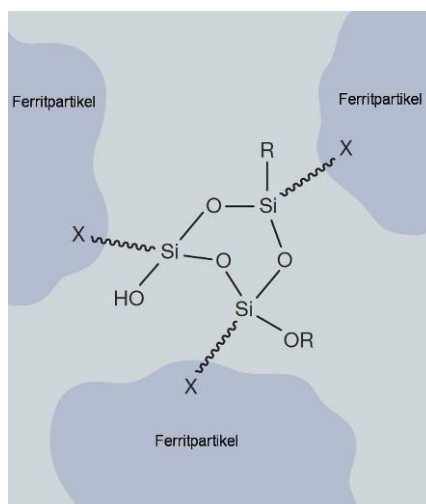


Abbildung 51: Quelle: Wacker AG - Vernetzung Ferritpartikel mit Silian

Nanoskaliges Eisenpulver

Nanoskaliges Eisenpulver mit einer Partikelgröße von ca. 50 nm weist Supermagnetismus auf, das heißt, dass die magnetische Leitfähigkeit stark zunimmt, wenn Partikel unterhalb einer

kritischen Größe zerkleinert werden. Dieser Effekt wurde auch innerhalb des Forschungsprojektes untersucht und für die Verwendung in induktiven Ladungssystemen bewertet.

Nanokristalline Eisenfolien

Nanokristalline Eisenfolien stellen eine gute Alternative zu gesintertem Ferritmaterial dar. Die Herstellung erfolgt aus der Schmelze durch Abscheidung und sehr schnelle Auskühlung auf einer Rolle. Hierdurch werden 17 - 25 µm dicke amorphe Bänder hergestellt, die durch eine nachgelagerte Wärmebehandlung eine nanokristalline Struktur erhalten.

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden Versuche mit feinstgemahlene Folien durchgeführt. Ziel war auch hier die Herstellung eines magnetisch wirksamen Verbundes, ähnlich den Versuchen mit nanoskaligem Eisenpulver.

Ferritfasern

Kleinere Ferritpartikel werden üblicherweise durch Mahlung aus gesinterten Ferritplatten hergestellt. Eine Alternative besteht darin Monofilamente im Schmelzspinnverfahren herzustellen. Hierbei wird das Material durch eine sehr schmale Düse aus einer Schmelze gezogen. Die erzeugten Fasern weisen eine sehr hohe magnetische Leitfähigkeit auf. Eine Untersuchung derartiger Materialien war im Rahmen des Forschungsprojektes nicht mehr möglich.

Eisenflakes

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde die INNOVENT e.V. Jena mit der Herstellung und Messung von magnetisch leitfähigen Compounds auf Basis von Flakes beauftragt. Ziel war auch hier die Herstellung eines magnetisch wirksamen Compounds.

Folgende Materialien mit hohem Eisenanteil wurden untersucht:

Flakes	Partikelgröße
Vitroperm 500	ca. 200 µm
FeSiNb-Band China	50-300 µm
FeSiNb-Band Russland	50-600 µm
China-Flakes	30-40 µm
Sendust	1-10 µm
NiFe	5-60 µm

Tabelle 10: Übersicht Partikelgrößen unterschiedlicher Flakes

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Flakestruktur von Vitroperm 500. Deutlich ist hier die einheitliche Größe der im Raschabkühlverfahren entstandenen Partikel zu erkennen. Ein deutlich differenziertes Bild weisen die so genannten Chinaflakes auf. Hier ist keine „Blättchenstruktur“ zu erkennen.

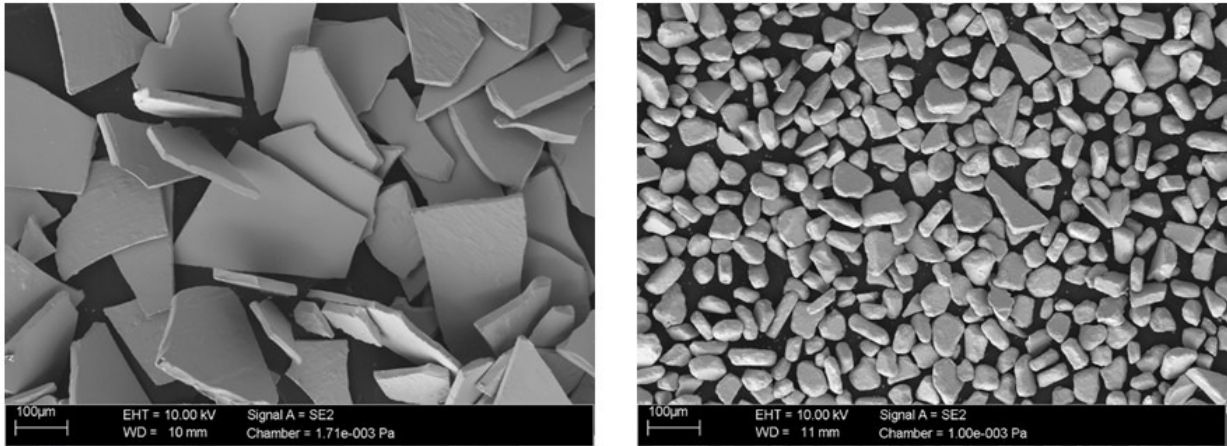


Abbildung 52: Links: REM-Aufnahme Vitroperm 500 / Rechts: REM Aufnahme China-Flakes

Die oben genannten Materialien wurden in ein Polymer eingearbeitet und aus dem Compound Folien mit einer Stärke von ca. 0.8 mm hergestellt. Diese Proben mit konstantem Füllgrad an magnetisch leitfähigem Material wurden mit Kupferlackdraht bewickelt und die Anfangspermeabilität bestimmt.

Die Untersuchungen zeigten, dass die Permeabilität eines polymergebundenen Ferrits unter anderem mit der Partikelform korreliert. Insbesondere die Verwendung von Partikeln, die als Flakes vorliegen erscheint aussichtsreich und könnte in einem Folgeprojekt genauer untersucht werden.

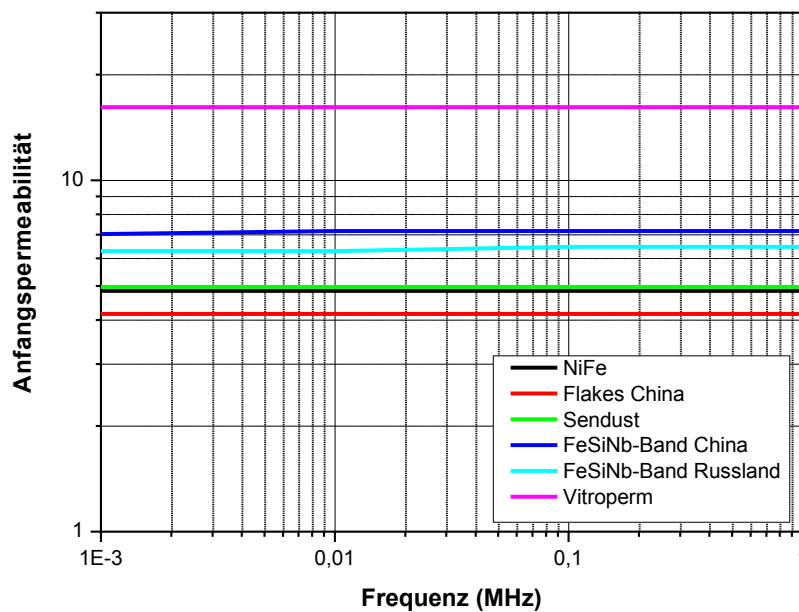


Abbildung 53: Messergebnisse Anfangspermeabilität

Fazit

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden Compounds mit einer maximalen magnetischen Permeabilität von ca. 12 erstellt. Diese liegt signifikant unter der Anfangspermeabilität gesinterten Ferritmaterials. Eine Austauschbarkeit gesinterten Materials durch einen hochgefüllten Compound erscheint daher unwahrscheinlich. Im Rahmen des Forschungsprojektes konnte jedoch nur eine grundlegende Forschung zu magnetisch aktiven Materialien durchgeführt werden.

21 Verarbeitungsverfahren für elektromagnetisch aktive Unterbodenverkleidungen

Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Ausgehend von den verschiedenen möglichen Materialaufbauten sollen die Verarbeitungsverfahren näher untersucht werden, um optimale Bauteile herstellen zu können

Ziel: Optimales Herstellverfahren für elektromagnetische aktive Unterbodenverkleidungen

Ergebnisse

Sekundärseitige Ladespule (Fahrzeugseite)

Das in Erprobung befindliche System zum induktiven Laden enthält sekundärseitig werkzeugfallend die Spulenaufnahme, die Positionierhilfe für die Ferritplatten sowie die Befestigung für die Aluminiumplatte. Die Montage der Spulenwicklung sowie des magnetisch leitfähigen Materials erfolgt jedoch noch manuell. Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde untersucht, inwieweit sich diese Arbeitsgänge optimieren lassen.

Der hierzu erdachte Fertigungsablauf ist in nachfolgender Abbildung als Ablaufdiagramm skizziert. Zunächst wird das Trägerbauteils aus D-LFT (Direct-Long Fiber-Thermoplast) im Pressverfahren erzeugt. Parallel wird die Spulenwicklung der Sekundärspule erzeugt, fixiert und für den Einbau in Vorbereitung gebracht. Ebenso werden die Ferritplatten mit der Isolierfolie verklebt und somit positioniert. Der Aufbau des Ladungssystems erfolgt durch Einschwenken der vorgefertigten Bauteile in das Trägerbauteil. Die im Prozessablauf ersichtliche Schaumdichtung dient der Abdichtung des Systems gegen Spritzwasser.

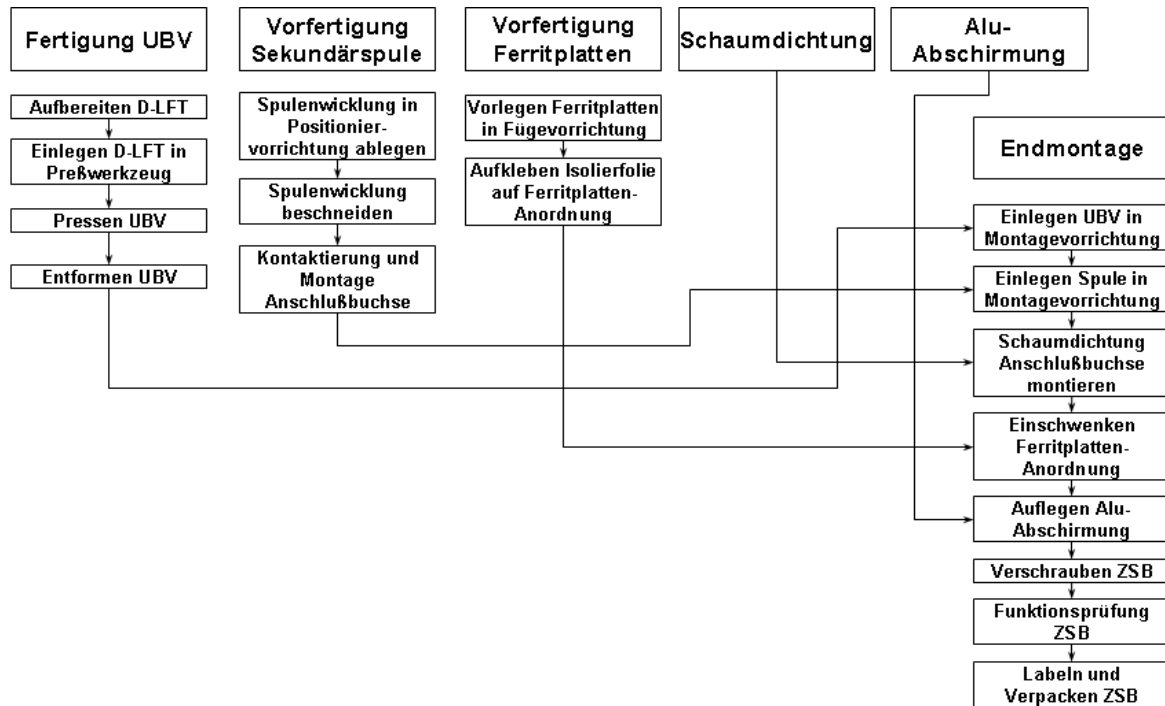


Abbildung 54: Prinzipdarstellung Fertigungsablauf Sekundärspule

Auf Basis des Fertigungsablaufes wurde auch eine Prinzipskizze der Fertigung erstellt, in der die Arbeitsschritte „Vorfertigung Sekundärspule“ / „Vorfertigung Ferritplatten“ / „Montage Zusammenbau“ / „Funktionsprüfung Zusammenbau“ von jeweils einem Mitarbeiter ausgeführt werden. Somit ist eine zeitlich optimierte Fertigung des sekundärseitigen Ladungssystems möglich.

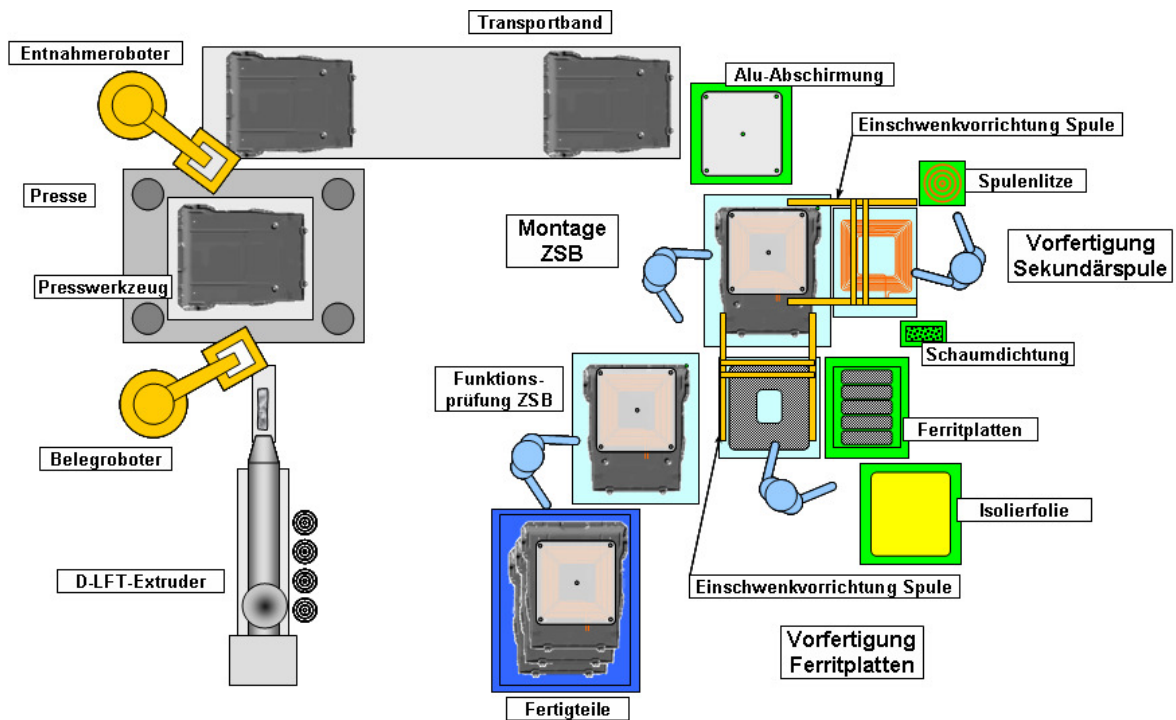


Abbildung 55: Prinzipskizze Fertigungslayout Sekundärspule

Des Weiteren wurden alternative Trägermaterialien zum Aufbau des Ladungssystems untersucht und über eine FEM-Analyse abgesichert. Die entsprechenden Ergebnisse befinden sich im Arbeitspaket 23.

Primärseitige Ladespule (Straßenseite)

Die Primärseite eines Ladungssystems muss mit der Sekundärseite kompatibel, das heißt geometrisch ähnlich aufgebaut sein. Erhöhte Anforderungen bestehen hierbei hinsichtlich der zu erwartenden Flächenlasten insbesondere bei Überfahren der Primärspule mit einem Lastkraftwagen. Hierzu wurde die zu erwartende Flächenlast (Radlast) mit 30 kN abgeschätzt und über die Aufstandsfläche die zu erwartende Flächenpressung errechnet. Zur Ableitung der Radlast in die Tragstruktur wurde eine Auslegung von Stützrippen vorgenommen, die eine minimale Belastung der Ferritplatten sicherstellt. Ein derartiger Aufbau stellt eine gute Alternative zu einem gefrästen Bauteil dar. Nachfolgende Abbildung zeigt das Verhältnis von Reifen-Latsch zu Stützrippen im Übergreif.

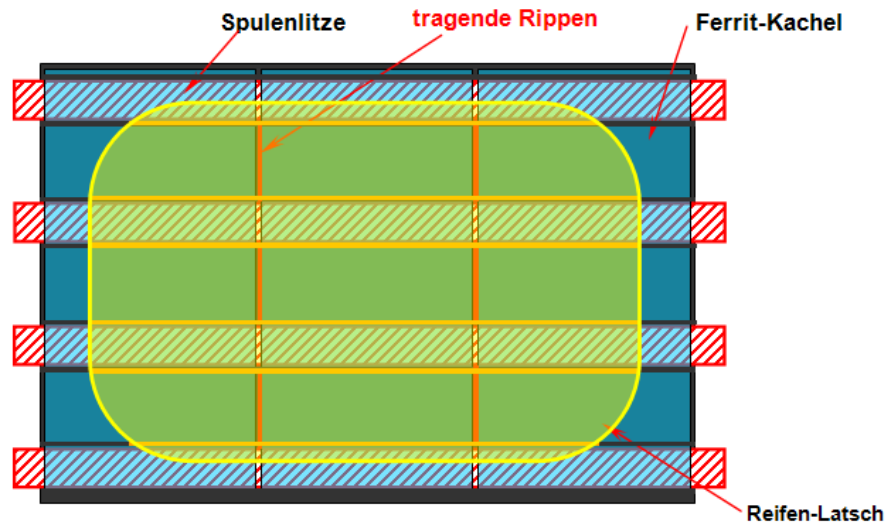


Abbildung 56: Reifen-Latsch zu Rippen im Übergriff

Abschirmung Wärmequelle über der sekundärseitigen Ladespule

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden Unterbodenverkleidungen mit integrierter Ladespule in Erprobungsfahrzeuge mit Elektroantrieb verbaut. Grundsätzlich besteht auch die Möglichkeit induktive Ladungssysteme in Range-Extender-Fahrzeugen einzusetzen. Die hierzu notwendige Wärmeabschirmung ist bereits über die vorhandene Aluminiumabdeckung gegeben, dies wurde über eine Simulation bestätigt. Bei einem Wärmeeintrag von 200°C erreicht die Sekundärspule im stationären Zustand eine Temperatur von unter 70°C . Dies ist für die Trägerstruktur beherrschbar, wie die zugehörige FEM-Analyse in den Arbeitspaketen 23 und 24 belegt.

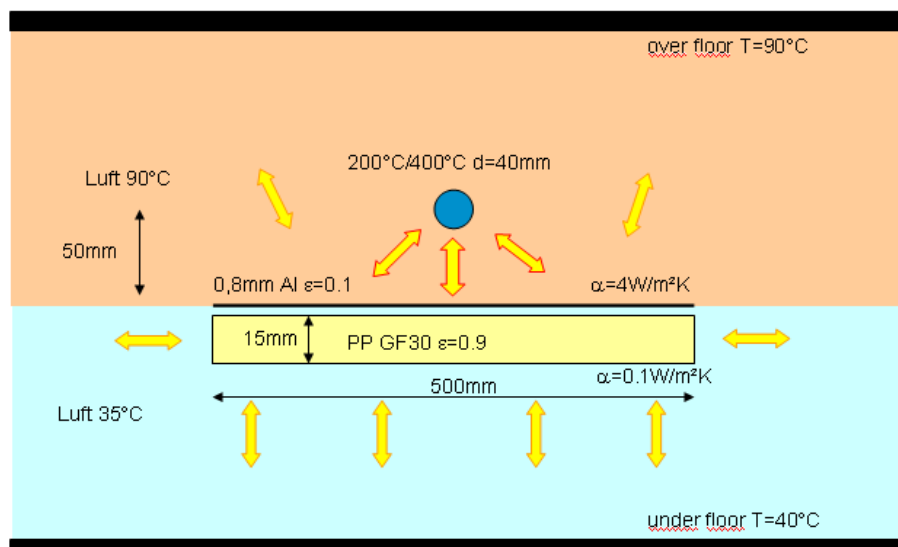


Abbildung 57: Schematischer Aufbau zum Wärmeintrag in das Ladungssystem

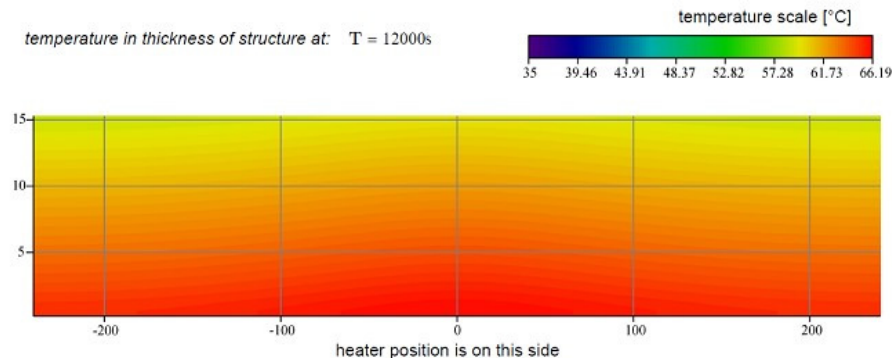


Abbildung 58: Simulationsergebnis zum Wärmeeintrag in das Ladungssystem

22 Funktions- und Versuchsmusterherstellung Unterboden

Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Grundlagenforschung zu Biegefestigkeit, Steifigkeit, Ausreißkräften, Schwingungseigenschaften usw. eines selbsttragenden Sandwichtaufbaus, der induktionsstromführende Litzen und feldhomogenisierende Schicht mit entsprechender Gewichtsverteilung integriert mit Hilfe von Musterbauteilen

Ziel: Erprobungsfähige Muster für Qualifizierungsversuche

Ergebnisse

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden zahlreiche Funktions- und Versuchsmuster erstellt. Nachfolgender Abschnitt beschreibt den Aufbau der Versuchsmuster, die in den Erprobungsfahrzeugen der Daimler AG zum Einsatz kamen.

In der gepressten Unterbodenverkleidung aus Polypropylen (PP-GF30) sind bereits werkzeugfallend die Spulenaufnahme, die Positionierhilfe für die Ferritplatten sowie die Befestigung für die Aluminiumplatte integriert. Die Spule wird über Doppelrippen in ihrer Lage fixiert. Hierauf wird eine Isolierfolie gelegt, an welche sich die gesinterten Ferritplatten anschließen. Das System ist zur Ableitung des magnetischen Feldes vom Fahrgastraum mit einer Aluminiumplatte abgedeckt. Die Montage erfolgt in vier aufeinander folgenden Schritten in z-Richtung.

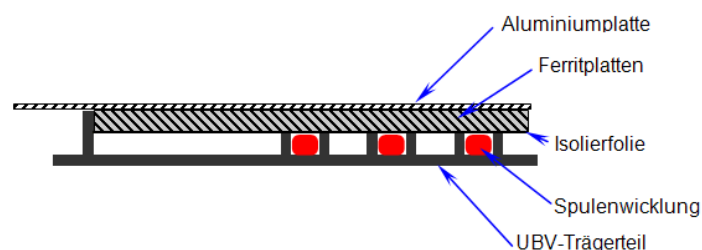


Abbildung 59: Aufbau der Unterbodenverkleidung im Schnittbild

Erstmalig wurde die Unterbodenverkleidung auf der Hannovermesse 2011 (Mobilitec) im Rahmen des Forschungsprojektes am Messestand des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) vorgestellt.



Abbildung 60: Unterbodenverkleidung auf der Hannovermesse 2011

23 Verifizierung Materialmuster Unterboden

Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Verifizierung Materialansatz anhand von Materialmuster

Ziele:

- Das Eigenschaftsprofil des Materials wird bestimmt
- Vergleich zu bestehenden Unterbodenverkleidungen/Kundenanforderungen

Abschätzung welche Eigenschaften noch geändert werden müssen

Ergebnisse

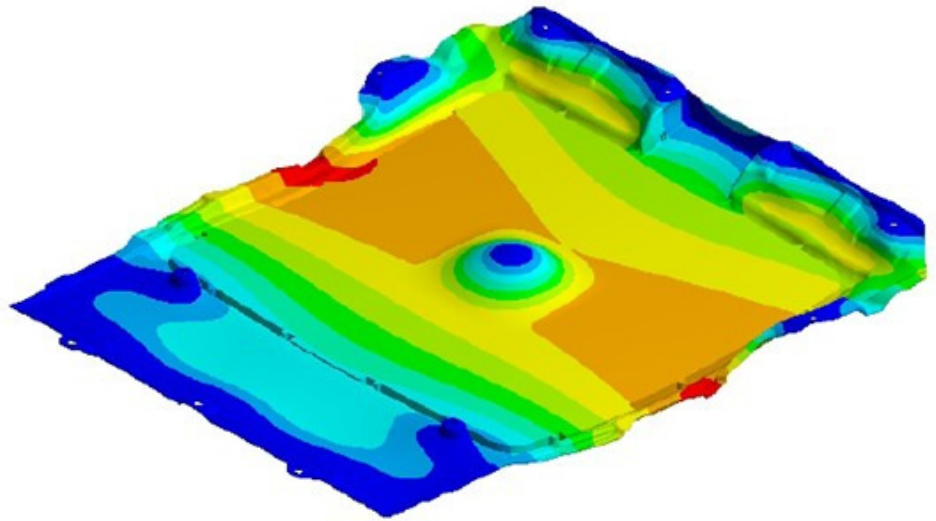
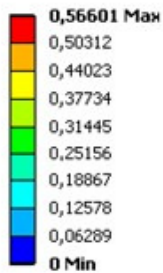
Der aktuelle Aufbau der sekundärseitigen Ladespule ist in kompaktverpresstem biegesteifem Polypropylen (PP-GF30) integriert, in dem auch alle Befestigungsmöglichkeiten für Spulenwicklung, Ferritplatten und Aluminiumabschirmung gut integrierbar sind. Nachteilig wirkt sich jedoch das relativ hohe Gewicht sowie die geringe akustische Wirksamkeit des verwendeten Trägermaterials aus.

Als alternatives Trägermaterial des Ladungssystems wurde ein im Niederdruckpressverfahren hergestelltes offenporiges und somit akustisch wirksames Material untersucht. Dieses wird bereits im Serienprozess von Röchling Automotive produziert und unter dem Produktnamen SeeberLite vertrieben. Die überlegenen Eigenschaften zeigen sich neben der guten Schallabsorption auch beim Gewicht sowie in der verbesserten Aerodynamik des Fahrzeugs.

Inwieweit das oben genannte offenporige Material zur Aufnahme der sekundärseitigen Ladespule geeignet ist, wurde über eine FEM-Analyse nachgewiesen.

Hierbei zeigte sich, dass das Material auch bei 70°C Umgebungstemperatur die Ladespule sicher tragen kann.

Typ: Gesamtverformung
Einheit: mm
Zeit: 1



$$u_{\text{Sum}} = 0,56 \text{ mm}$$

Abbildung 61: Verformung 100-fach überhöht dargestellt

24 Verifizierung Bauteilmuster Unterboden

Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Verifizierung Materialansatz anhand von Bauteilen

Ziele:

- Das Eigenschaftsprofil des Bauteils wird bestimmt
- Vergleich zu bestehenden Unterbodenverkleidungen/Kundenanforderungen
- Abschätzung welche Eigenschaften noch geändert werden müssen

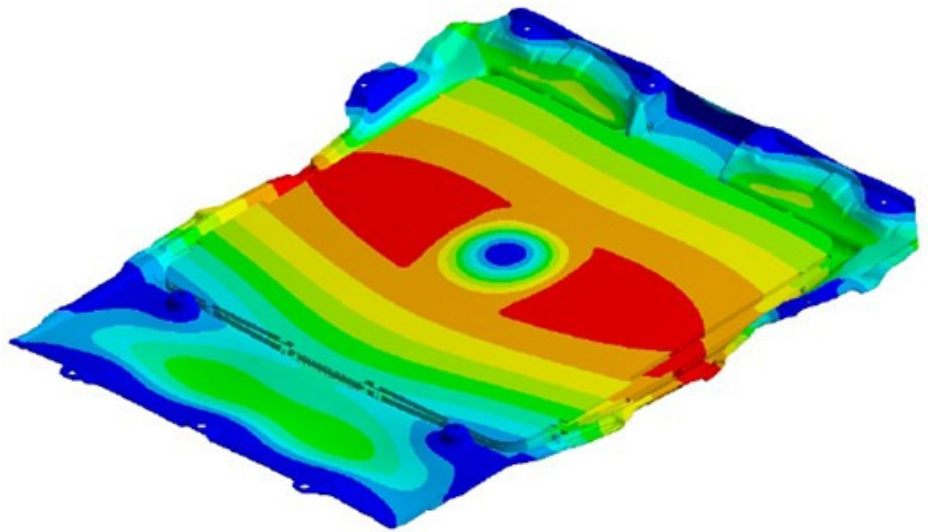
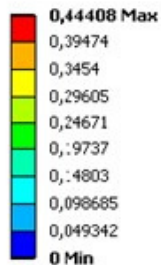
Ergebnisse

Das Ladungssystem, aufgebaut aus einem PP-GF30 Trägermaterial und komplettiert mit Spule, Ferritplatten und Aluminiumabdeckung, wurde über eine FEM-Analyse bei einer Umgebungstemperatur von 80°C abgesichert. Die Auslegung wurde hierbei für folgende drei Lastfälle erfolgreich untersucht.

Lastfall 1: Maximale z-Beschleunigung

Aufgabe einer maximalen vertikalen Beschleunigung von 6 g in positiver z-Richtung

Typ: Gesamtverformung
Einheit: mm
Zeit: 1



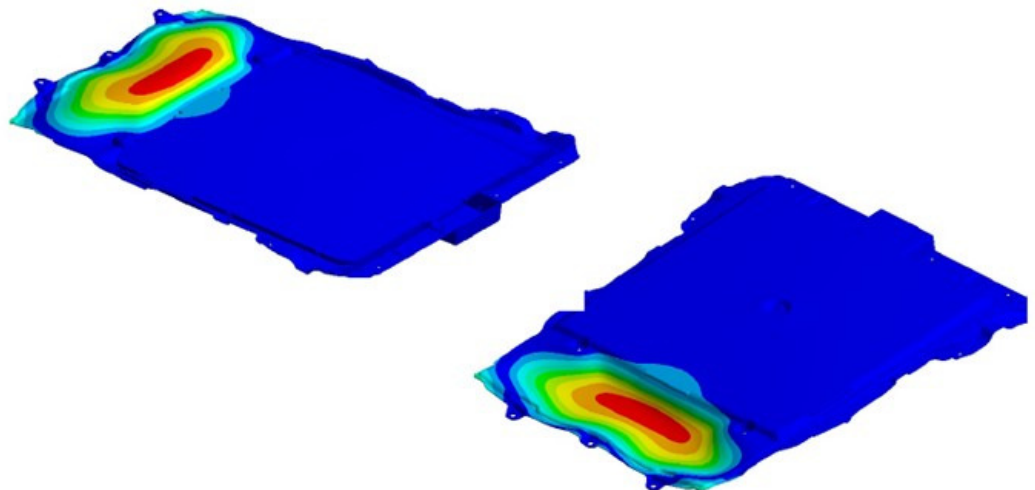
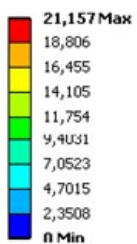
$u_{\text{Sum}} = 0,44 \text{ mm}$

Abbildung 62: Verformung 100-fach überhöht dargestellt

Lastfall 2: Aufsetzen der Bodenstruktur auf einer Bordsteinkante

Aufgabe einer schmalen (450 mm x 20 mm) Flächenlast als Ersatz für das Aufsetzen des Fahrzeuges auf einer Bordsteinkante mit einem anteiligen Fahrzeuggewicht von 500 kg, entsprechend 5 kN

Typ: Gesamtverformung
Einheit: mm
Zeit: 1



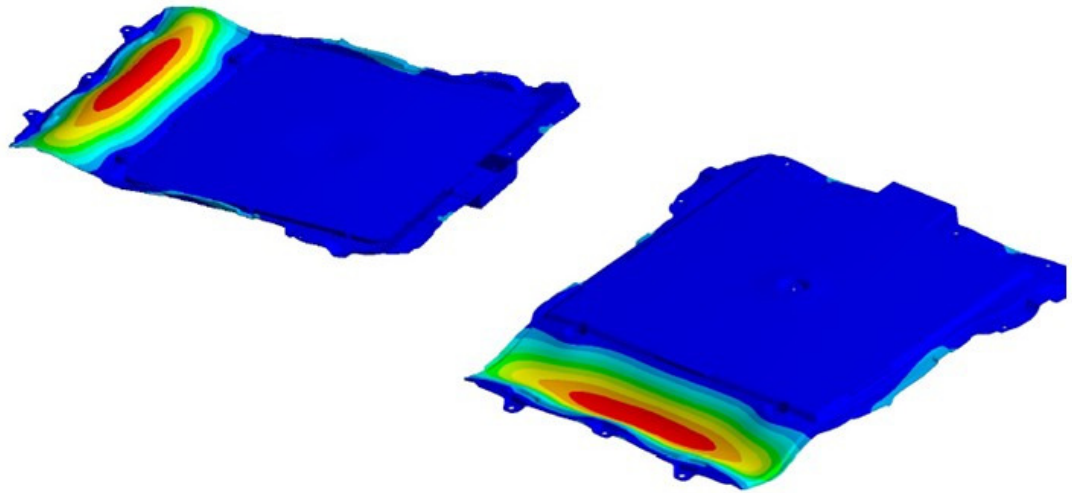
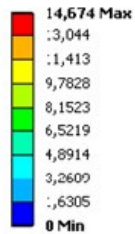
$u_{\text{Sum}} = 21,16 \text{ mm}$

Abbildung 63: Verformung 3-fach überhöht dargestellt

Lastfall 3: Wasserdurchfahrt

Aufgabe einer schlagartigen Flächenlast entsprechend dem halben Fahrzeuggewicht von 750 kg (7,5 kN) infolge des vollständigen Aufschwimmens des Fahrzeuges

Typ: Gesamtverformung
Einheit: mm
Zeit: 1



$u_{\text{Sum}} = 14,67 \text{ mm}$

Abbildung 64: Verformung 5-fach überhöht dargestellt

Die Simulationen wurde auf Basis des nachfolgenden Spannungs-Dehnungs-Diagramms durchgeführt.

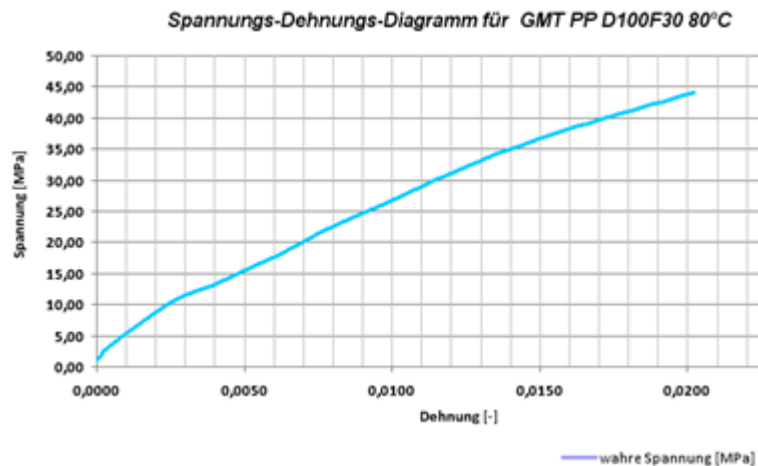


Abbildung 65: Spannungs-Dehnungs-Diagramm PP-GF30

Ferner wurde das Trägermaterial hinsichtlich Medienverträglichkeit nach DIN-ISO 16750, Zugfestigkeit und Dehnung nach DIN EN ISO 527-4, Biegefestigkeit nach DIN EN ISO 14125, und Schlagzähigkeit nach DIN EN ISO 179-1 erfolgreich geprüft.

	Einheit	1	2	3	4	5	6
Zugfestigkeit	DIN EN ISO 527-4 (DIN 53455)	180x20mm V=5mm					
längs	MPa	90,1	77,0	79,1	86,0	70,1	76,6
quer	MPa	60,6	40,3	60,7	64,8	51,0	52,4
Zug-E-Modul 0,05-0,25%	DIN EN ISO 527-4 (DIN 53457)	180x20mm V=5mm					
längs	MPa	5782	4910	5107	5240	4942	5038
quer	MPa	4527	3702	4294	4555	3904	4090
Dehnung	DIN EN ISO 527-4 (DIN 53455)	180x20mm V=5mm					
längs	%	2,2	2,6	2,3	2,6	2,1	2,2
quer	%	2,0	2,0	2,5	2,4	2,1	2,1
Biegefestigkeit	DIN EN ISO 14125 (DIN EN 63)	90x20mm V=10mm					
längs	MPa	119,6	132,0	140,7	152,7	116,6	125,8
quer	MPa	100,7	136,1	92,8	98,1	108,5	117,5
Biege-E-Modul 0,05-0,25%	DIN EN ISO 14125 (DIN 53457)	90x20mm V=10mm					
längs	MPa	4124	4631	4959	5393	3729	4594
quer	MPa	3917	4754	3555	3574	2858	4431
Schlagzähigkeit	DIN EN ISO 179 (DIN 53453)	120x15mm					
längs	KJ/m ²	58,2	61,5	61,0	68,9	58,2	62,7
quer	KJ/m ²	66,6	61,6	74,3	71,1	53,3	55,8
Dichte	ISO 1183 (DIN 53479)	25x20mm					
	g/cm ³	1,144	1,126	1,169	1,149		
Glasgehalt	DIN EN ISO 1172 (EN 60)	25x20mm					
	%	31,6	29,4	34,1	32,0		

Tabelle 11: Auszug aus Materialprüfung

Fazit

Das untersuchte Bauteil hat alle Lastfälle überstanden und kann im Fahrzeug uneingeschränkt eingesetzt werden. Die Ergebnisse sind bei den zugrunde gelegten Materialdaten sowie der hohen Einsatztemperatur von 80°C überdies als konservativ einzustufen.

25 Verifizierung Unterboden-Bauteil am Fahrzeug

Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Verifizierung Materialansatz anhand von Musterbauteilen unter Berücksichtigung der Vermeidung von zusätzlicher Bauhöhe und zusätzlichem Montageaufwand im Vergleich zu bisherigen Unterbodenverkleidungen

Ziele:

- Das Eigenschaftsprofil des Bauteils wird bestimmt
- Vergleich zu bestehenden Unterbodenverkleidungen/Kundenanforderungen

Abschätzung welche Eigenschaften noch geändert werden müssen

Ergebnisse

Die im Rahmen des Forschungsprojektes konstruierten und gefertigten Unterbodenbauteile mit Ladespule wurden in zwei Forschungsfahrzeugen der Daimler AG verbaut und im Rahmen des Projektes erprobt. Eine frühe Version der Ladespule der Ladespule zeigte leichte Verzüge, was aus dem Auskühlverhalten des Bauteils im Fertigungsvorgang resultiert. In Folge wurden weitere Bauteile

im Auskühlvorgang vorgespannt. Dies ging mit Optimierungen am Werkzeug einher, sodass die in der Erprobung befindlichen Ladespulen diesbezüglich keine Einschränkungen aufweisen.

Im Zuge der Projektbearbeitung und nach ersten Systemtests im Fahrzeug gelangte der Aspekt der Beeinflussung von Tieren durch den Ladevorgang in den Fokus der Betrachtung. Das menschliche Gehör kann Frequenzen bis ca. 20 kHz wahrnehmen, wohingegen beispielsweise bei Fledermäusen ein hörbarer Bereich bis ca. 120 kHz nachgewiesen wurde. Auch Hunde und Katzen könnten von akustischen Störquellen von bis zu 50 kHz respektive 65 kHz beeinflusst werden.

Da Röchling Automotive auf die akustische Streufeldmessung im für Menschen hörbaren Bereich spezialisiert ist, wurde mit den Projektbeteiligten entschieden, derartige Messungen im Frequenzbereich bis ca. 80 kHz am Ladungssystem durchzuführen.

Die Messung wurde an einem Testsystem bestehend aus Einspeisekonverter, Primärspule, Sekundärspule und fahrzeugseitigem Laderegler durchgeführt. Gemessen wurde die Störfeldausstrahlung im Abstand von 0,5 Meter von den Ladespulen sowie dem Laderegler.

Im Standby und Suchmodus war kein erhöhter Geräuschpegel nachweisbar, lediglich im Ladebetrieb konnte eine Erhöhung des Schalldrucks gemessen werden.

Inwieweit diese von der Ladespule oder der zugehörigen Elektronik ausgehen, konnte im Rahmen des Forschungsprojektes nicht abschließend geklärt werden. In jedem Fall nimmt die Bedämpfung der Luft mit steigender Frequenz nach ISO 9613-1:1993 deutlich zu, das heißt im Abstand von wenigen Metern ist ein deutlicher Rückgang der hochfrequenten Anteile zu verzeichnen. Eine direkte Beeinflussung von Tieren durch die primär- oder sekundärseitige Ladespule erscheint somit als unwahrscheinlich.

26 Zusammenfassung und Ausblick Unterboden

Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Ergebnisse zusammenfassen, Ausblick für eine folgende Produktentwicklung

Ziele:

Material und Fertigungskonzept für eine folgende Produktentwicklung festlegen

Ergebnisse

Ziel des Forschungsprojektes war die Integration einer sekundärseitigen Ladespule in die Unterbodenverkleidung eines PKW. Dies wurde erfolgreich umgesetzt.

Ein weiterer Schwerpunkt war die Forschung zu magnetisch wirksamen Compounds zur Substitution gesinterter Ferritplatten in klassischen induktiven Ladungssystemen. Bis zum Projektende konnte kein Compound erstellt werden, der eine zu gesintertem Material vergleichbare magnetische Leitfähigkeit aufweist. Allerdings zeigte sich zum Ende der Projektlaufzeit, dass der Einsatz von Eisenflakes eine gute Alternative zu gesintertem Material darstellen könnte. Die Intensivierung einer derartigen Forschung ist daher anzustreben.

Die sekundärseitige Ladespule wird noch manuell erstellt, jedoch konnte im Arbeitspaket 21 nachgewiesen werden, dass eine weitgehend automatisierte Fertigung in Abhängigkeit von der Stückzahl möglich ist.

Durch den Einsatz alternativer Trägermaterialien kann das Gewicht des Ladungssystems gesenkt und zudem die Schallabsorption verbessert werden. Dies wurde in den Arbeitspaketen 21 und 23 beschrieben.

E. Ausführliche Darstellung der erzielten Ergebnisse des Verbundprojektes (Daimler AG)

27 Qualifikation des induktiven Übertragungssystems

Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Basierend auf der vom Verbundprojektspartner CONDUCTIX-WAMPFLER entwickelten Technologie zum induktiven Laden werden anhand eines aufgebauten Prototypen (Primär- und Sekundärspulensystem mit primärseitigen Anregung und sekundärseitiger Last) die wesentliche Einflussfaktoren auf die Leistungsübertragung im Fahrzeug untersucht. Der Demonstrator wird hierbei gemäß OEM-Richtlinien in einer Fahrzeugumgebung validiert.

Ziele:

- Abnahme des Demonstrators von Conductix-Wampfler gemäß Spezifikationen.
- Validierung des Demonstrators im Fahrzeugumfeld gemäß Daimler-interner Richtlinien (Mercedes-Benz-Normen).
- Erweiterte Untersuchungen der Technologie und ihrer Einflussfaktoren.
- Bestimmung der Kenndaten des induktiven Übertragungssystems im Fahrzeug.

Ergebnisse

Ein Laborsystem zur Induktiven Übertragung wurde vermessen und qualifiziert. Der max. Wirkungsgrad von 84,5% wurde bei 3,3kW Netzleistung und optimaler Positionierung beider Spulen gemessen. Zusätzliche Fahrzeuguntersuchungen zeigen Störungen des Magnetfelds vom kontaktlosen Laden auf die Parkassistenten-Systeme und das „Keyless-Go“-System von Fahrzeugen. Das Fahrzeug lässt sich z.B. nicht verriegeln und der Schlüssel wird teilweise nicht erkannt. Der Radioempfang (FM und AM) beim Laden wurde durch das Prototypensystem gestört.

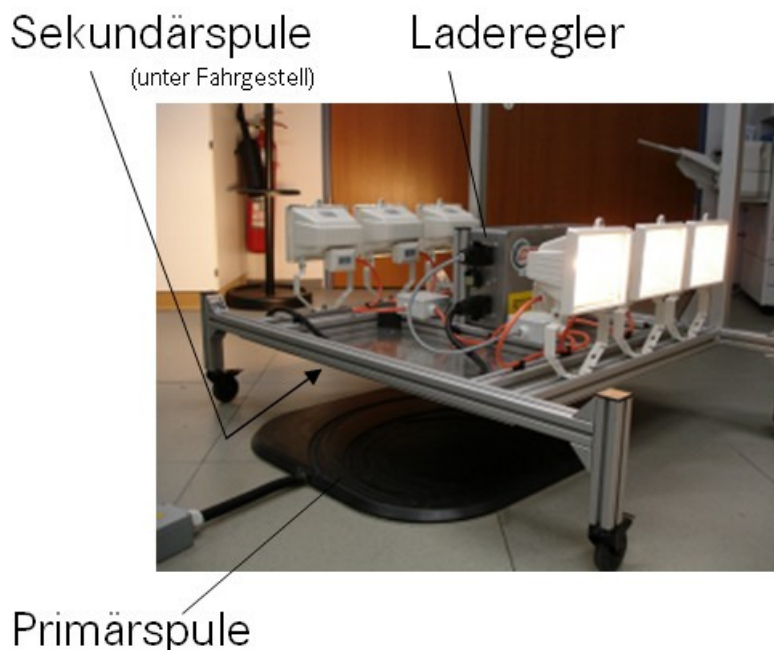


Abbildung 66: Laborsystem zur Induktiven Übertragung

28 Sicherheitskonzept

Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Es wurden anhand eines induktiven Laborsystems Messungen des elektrischen und magnetischen Feldes im Frequenzbereich von 9 kHz bis 30 MHz durchgeführt. Eine Bewertung erfolgte anhand gesetzlicher und Daimler-interner EMV-Anforderungen sowie auf Basis des chinesischen Standards für E-Fahrzeuge (GB/T 18387-2008). Es treten schmalbandige Störungen durch Grundtakt und Oberwellen der Ansteuereinheit auf und überschreiten die Grenzwerte. Die Grenzwerte für ungestörten Rundfunkempfang sind deutlich überschritten.

Ziele:

- Definition von Sicherheitsanforderungen und ihre Umsetzung für das induktive Übertragungssystem.
- Vorbereitende Untersuchungen zum Nachweis der Konformität zu den Sicherheitsanforderungen.

Ergebnisse

Es wurden anhand eines induktiven Laborsystems Messungen des elektr. und magn. Feldes im Frequenzbereich von 9 kHz bis 30 MHz durchgeführt. Eine Bewertung erfolgte anhand gesetzlicher und interner EMV-Anforderungen sowie chinesischem Standard für E-Fahrzeuge (GB/T 18387-2008). Es treten schmalbandige Störungen durch Grundtakt und Oberwellen der Ansteuereinheit auf und überschreiten die Grenzwerte. Die Grenzwerte für ungestörten Rundfunkempfang sind deutlich überschritten.

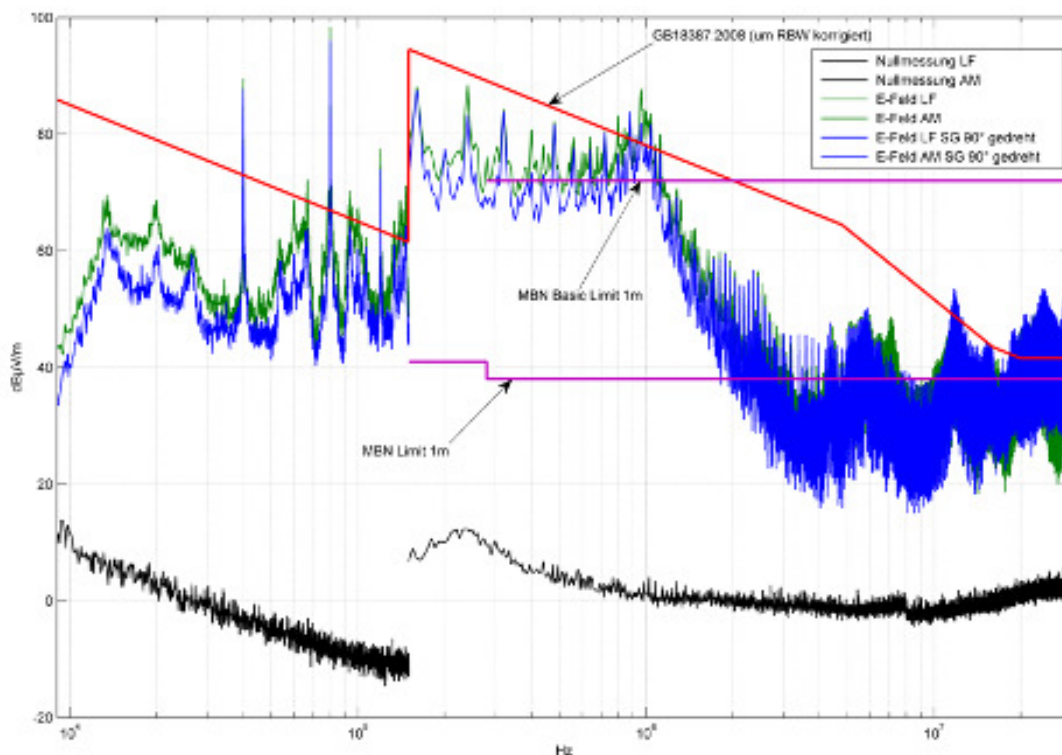


Abbildung 67: E-Feldmessung am Laborsystem zur Induktiven Übertragung

ür das ins Fahrzeug integrierte induktive Ladesystem wurden die abgestrahlten elektrischen Felder nach Norm CISPR12 Fernentstörung im Frequenzbereich 30-1000 MHz gemessen. Eine Erfüllung dieser Prüfung ist notwendig für eine Zertifizierung eines Fahrzeugs beim Kraftfahrt-Bundesamt.

Messverfahren

Die Abstrahlung wurde gemessen im folgenden Betriebszustand: induktiver Ladebetrieb mit 3 kW übertragener elektrischer Leistung, Sekundärspule im Fahrzeug steht mittig über Primärspule, Fahrzeug ist in Betrieb mit „Klemme 15 ein“ (=Zündung Ein). Im Vergleich mit der Referenzmessung im gleichen Betriebszustand mit ausgeschaltetem induktivem Ladesystem kann die Höhe der Störpegel abgeschätzt werden.

Ergebnis

Das Fahrzeug überschreitet bereits in der Referenzmessung (induktives Ladesystem aus) wegen anderer Störquellen im Fahrzeug die CISPR12-Grenzwerte, siehe Abbildung (blau gestrichelte Linie Grenzwert).

Bei eingeschaltetem induktivem Ladesystem erhöhen sich die abgestrahlten Störungen um ca. 20-25 dB im Frequenzbereich von 30-180 MHz.

Fazit

Eine bessere Entstörung des Versuchsfahrzeugs wäre erforderlich, um Höhe der Störungen im Ladebetrieb des Fahrzeugs genauer beurteilen zu können.

Prognose

Die Grenzwerte nach CISPR12 können im Ladebetrieb eingehalten werden, ggfs. sind dezidierte Verbesserungsmaßnahmen erforderlich, der Rundfunkempfang wird im Ladebetrieb beeinträchtigt sein.

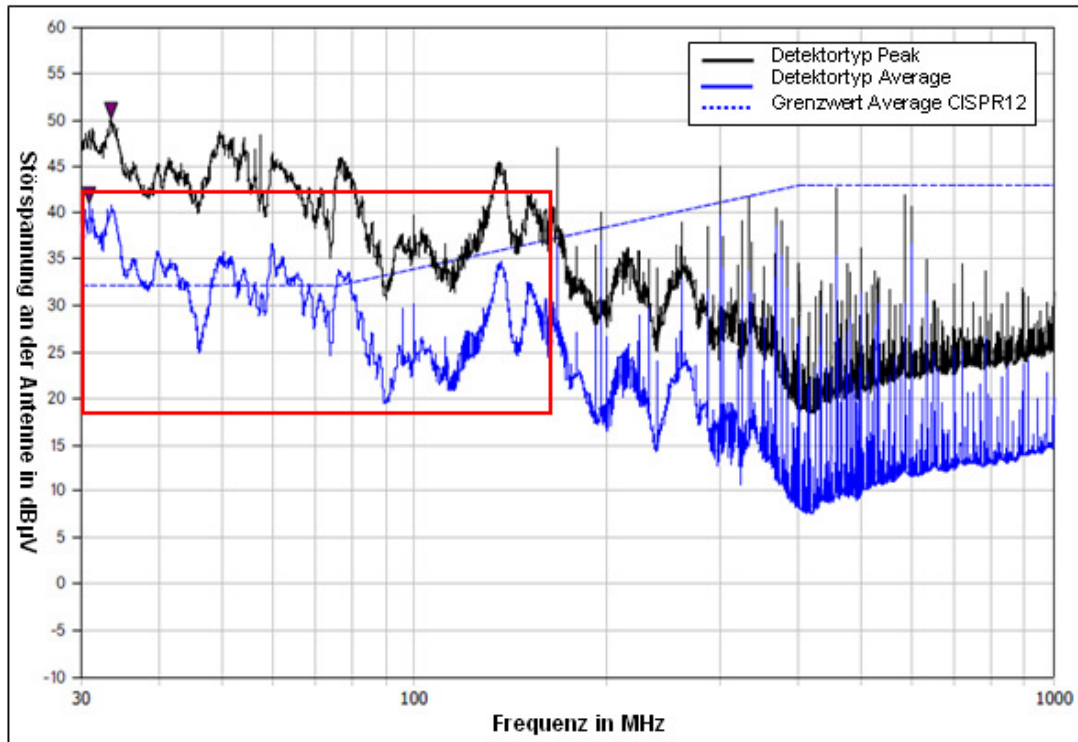


Abbildung 68: Induktives Ladesystem eingeschaltet, Messung nach CISPR12 in 3 m Abstand, Fahrzeug KI. 15 ein

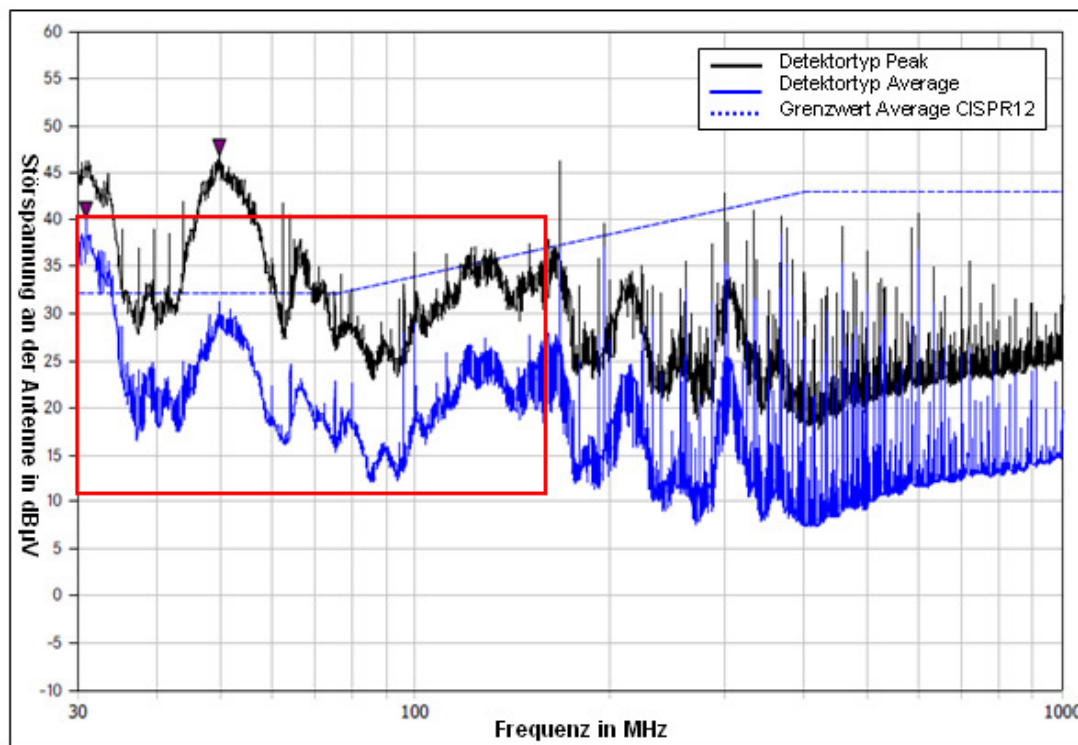


Abbildung 69: Referenzmessung und Induktives Ladesystem ausgeschaltet

Desweiteren wurden Anforderungen zur Hochvolt-Sicherheit der Komponenten nach der aktuellen Daimler-internen Liefervorschrift für Hochvolt-Komponenten erörtert, festgelegt und im Fahrzeug umgesetzt.

29 Untersuchungen Fahrzeugintegration

Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Die in AP 17 erarbeiteten Grundlagen hinsichtlich der Gestaltung der Sekundärspule, der flussführenden Elemente sowie der WLAN-Ladecontroller-Antenne (z.B. Kunststoff-Unterboden mit eingelagerter Ferrit-Struktur) werden packageseitig im CAD im Erprobungszielfahrzeug untersucht. Dies ist Grundlage für Konstruktion und Herstellung der benötigten Komponenten.

Ziele:

- Packageuntersuchungen zur Unterbringung und Integration des fahrzeugseitigen induktiven Übertragungssystems in Erprobungsträgern.
- Erforschung von Konzepten zur Integration in zukünftigen Fahrzeug-Baureihen. Erarbeiten von Vorschlägen zur Gestaltung der Komponenten.
- Entwicklung eines HMI-Konzepts zur Fahrerassistenz beim Anfahren der Ladeposition.

Ergebnisse

Die Fahrzeugspule wurde in Zusammenarbeit mit der Firma Röchling in die vordere Unterbodenverkleidung des Erprobungsträgers konstruiert und für die Fahrzeugintegration abgesichert. Die HV-Kabelabgänge an den Komponenten und Verlegewege wurden definiert und das Package des Ladereglers im Erprobungsträger wurde festgelegt. Der Bauraum für eine zusätzliche PDU (Power Distribution Unit) zwischen Spule und Regler wurde definiert und eine notwendige Modifikation der bestehenden PDU durchgeführt. Die Packageuntersuchungen mussten anders wie geplant bis 03/2011 weiterlaufen, da die mechanische Integration der Sekundärspule in die Unterbodenverkleidung aus Platzgründen sich schwierig gestaltete. Zudem ist das Gewicht von 20 kg der verbauten prototypischen Unterbodenverkleidung mit integrierter Sekundärspule für eine Serienlösung zu hoch und bedarf noch weiterer Optimierung der verwendeten Materialien bzw. einer Änderung der Spulengröße.

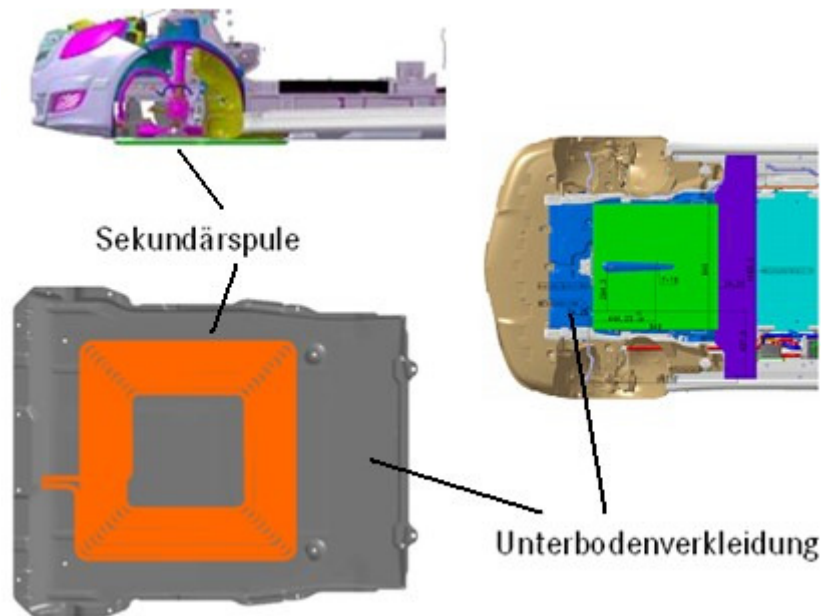


Abbildung 70: In die Unterbodenverkleidung integrierte Sekundärspule

Ein weiterer Schwerpunkt im Arbeitspaket war die Konzepterstellung und Entwicklung des HMI zur Unterstützung des Fahrers bei der Positionieraufgabe „Anfahren der optimalen Ladeposition“. Einzelthemen waren die Definition der graphischen Oberfläche und Symbole sowie der anzuzeigenden Informationen.

30 Modifizierung Fahrzeugsysteme für kabelloses Laden

Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

Der fahrzeugseitige Ladecontroller muss softwareseitig auf das spezifische Verhalten des induktiven Ladesystems angepasst werden. Hierbei ist eine Integration in die bestehende Fahrzeugvernetzung vorzunehmen und die Betriebsstrategie kabelloses Laden neu zu entwickeln. Notwendige Sicherheitsaspekte sind hierbei zu berücksichtigen. (max. Ladepannung, max. Ladestrom, Temperaturüberwachung, ...)

Ebenso wird der Ladecontroller mit einer Funk-Schnittstelle zur drahtlosen Nahfeldkommunikation mit der Ladeinfrastruktur erweitert und integriert.

Ziele:

- Untersuchungen zur Anpassung der fahrzeugseitigen Elektrik- und Hochvolt-Systeme (Verkabelung, Vernetzung, Software / Algorithmen) an das induktive Übertragungssystem.
- Implementierung des HMI-Konzepts im Fahrzeug.

Ergebnisse

Die Software-Änderung der bestehenden kabelgebundenen Ladebetriebsstrategie im Erprobungsträger zur Steuerung der Komponenten des induktiven Ladensystems wurde entsprechend der erarbeiteten Anforderungen eingelastet und modifiziert.

Das Gesamtsystem Kabelloses Laden wurde in die Elektrik/Elektronik des Erprobungsträgers integriert und die Modifikationen an Verkabelung, Hochvoltsystem und Vernetzung durchgeführt und in Betrieb genommen.

Zur Visualisierung des Ladevorgangs und der Positionierung im Fahrzeug wurde ein HMI für das Laden umgesetzt. Dieses HMI basiert auf Positionssignalen des Übertragungssystems zur Bestimmung der Position der Sekundärspule in Bezug auf die Primärspule. Hierdurch erhält der Fahrer Hinweise, ob das Fahrzeug richtig positioniert ist oder in welche Richtung es noch zur optimalen Ladeposition bewegt werden muss. Nach dem Positioniervorgang erhält der Fahrer einen Hinweis, dass das Fahrzeug geladen werden kann.



Abbildung 71: Visualisierung des Ladevorgangs und Positionierung

31 Fahrzeugdemonstrator Erprobung

Problemstellung, Lösungsansatz und Ziel des AP

In diesem Arbeitspaket wird das induktive Übertragungssystem zusammen mit den in AP 10 entwickelten bzw. angepassten Komponenten in zwei B-Klasse-Fahrzeuge zur Demonstration des kabellosen Ladesystems integriert. Im Zusammenspiel mit der beim Verbundprojektspartner Conductix-Wampfler AG entwickelten stationären Ladestation wird das kabellose Laden eines batterieelektrischen Fahrzeugs untersucht und die Leistungsfähigkeit ermittelt.

Die Erprobung der beiden Fahrzeugdemonstratoren im Alltagsbetrieb zur Ermittlung der Verlässlichkeit aller Systemkomponenten in typischen Betriebszuständen nimmt dabei einen großen Teil der Integrationsaufgabe des Fahrzeugherstellers ein. Ferner werden die Besonderheiten im privaten Garagenbetrieb sowie im öffentlichen Parkraum unter freiem Himmel bzw. unter Dach untersucht. Dabei werden die Erfahrungen aus vergangenen und parallelen Feldversuchen mit kabelgestützten Systemen herangezogen. Abschließend werden Perspektiven zur serienmäßigen Realisierung in batterieelektrischen Fahrzeugen aufgezeigt.

Ziele:

- Aufbau und Inbetriebnahme der Demonstratorfahrzeuge.
- Applikation und Optimierung des Gesamtsystems.
- Untersuchung und Erprobung des Übertragungssystems unter alltagstauglichen Randbedingungen.

- Ermittlung der Kenndaten des induktiven Ladesystems.

Ergebnisse

Für die Erprobung des Systems wurden 2 Versuchsträger auf Basis eines Range-Extenders auf induktives Laden umgebaut. Zur mechanischen Integration der Ladespule und des Laderegler wurden Modifikationen am bestehenden Versuchsträger durchgeführt. Die Liefertermine der prototypischen Komponenten von Conductix-Wampfler und Röchling wurden für den geplanten Fahrzeugeinbau terminiert und die Anforderungen zur funktionalen Integration des Übertragungssystems in den Erprobungsträger definiert. Die Anforderungen zur HV-Sicherheit der Komponenten für den sicheren Fahrzeugbetrieb wurden umgesetzt und die Umbaumaßnahmen für die 2 Erprobungsträger auf induktives Laden beschrieben und wie im Arbeitsplan vorgesehen durchgeführt. Nach der Erstinbetriebnahme und Applikation wurde das Gesamtsystem in mehreren Iterationsschleifen in Zusammenarbeit mit allen Projektpartnern optimiert.

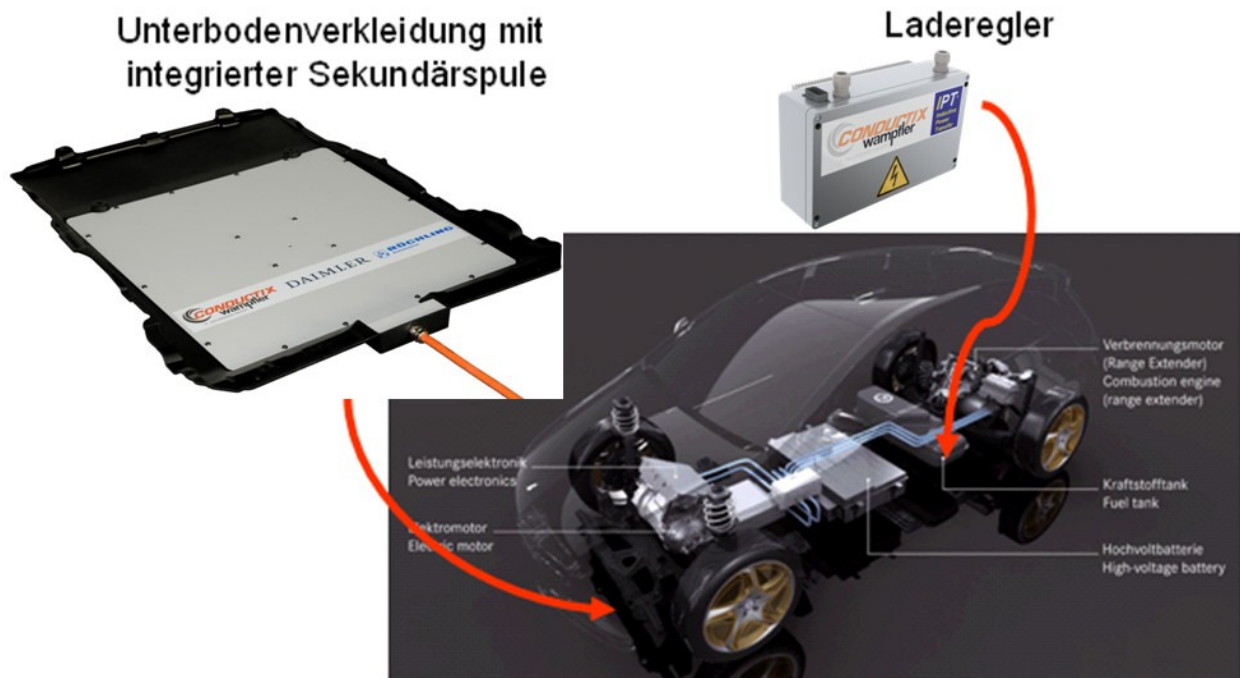


Abbildung 72: Integration der Komponenten in ein Range-Extender Versuchsfahrzeug



Abbildung 73: Bodenansicht des Erprobungsträgers mit integrierter Sekundärspule in die Unterbodenverkleidung

Zur alltagstauglichen Erprobung wurde ein Ladeplatz im Außenbereich entwickelt und aufgebaut. Hierbei wurde eine überfahrbare Primärspule in den Boden integriert und die Einspeiseelektronik wetterfest am Ladeplatz installiert. Zusätzlich wurde ein Ladeplatz im Gebäude vorgesehen und hierfür eine Bodenaufbauspule installiert. Auf beiden Ladeplätzen konnten die Versuchsfahrzeuge geladen werden, wobei hierzu auch die daraus entstehenden Unterschiede der Spulenabstände beim Laden untersucht und optimiert wurden.



Abbildung 74: Induktiver Ladeplatz mit Primärspule und Erpobungsträger



Abbildung 75: Induktiver Ladeplatz im Außenbereich



Abbildung 76: Induktiver Außenladeplatz und Erprobungsträger

Die funktionale Erprobung der umgebauten Versuchsträger wurde für 3 Monate im täglichen Gebrauch mittels Fahrten innerhalb der Umgebung Böblingen und Sindelfingen durchgeführt. Dabei wurde täglich die Traktionsbatterie über das induktive Übertragungssystem geladen und Messdaten aufgezeichnet. Aufgrund der gewonnenen Messdaten wurde sowohl die funktionale Software als auch die Hardwareoptimierung des Systems vorangetrieben.

Die mechanische Beanspruchung der prototypischen Komponenten zum induktiven Laden zeigten während der 3-monatigen Testphase keinerlei Schäden oder Beeinträchtigungen.

Bei den Parkuntersuchungen des Fahrzeugs stellte es sich heraus, dass die Positionierung des Fahrzeugs auf der Primärspule mit einem zulässigen Toleranzradius von ca. 10cm und mittels der geführten Positionsvisualisierung im Fahrzeug einfach zu handhaben ist.

F. Darstellung wesentlicher Abweichungen zum Arbeitsplan (Conductix-Wampfler AG)

Trotz der relativ späten Förderzusage und der administrativen Vorbereitungen für Arbeitsverträge und Auftragsvergabe, wodurch das Projekt mit einer Verzögerung von ca. 3 Monaten startete, konnten zu allen Arbeitspaketen Ergebnisse erzielt werden.

G. Darstellung wesentlicher Abweichungen zum Arbeitsplan (Daimler AG)

Der Arbeitsplan zu den AP27 bis 31 der Daimler AG wurde wie geplant durchgeführt.

H. Vergleich der Projektergebnisse zum internationalen Stand der Technik

Das Projektteam ist Mitglied des Arbeitskreises DKE/GAK 353.0.1 „Berührungsloses Laden von Elektrofahrzeugen“ und leistet auch aktive Mitarbeit bei der Anwendungsregel (VDE-AR-E 2122-4-2 Elektrische Ausrüstung von Elektro-Straßenfahrzeugen - Induktive Ladung von Elektrofahrzeugen - Teil 4-2: Niedriger Leistungsbereich), weshalb alle in diesem Projekt getätigten Entwicklungen den Vorgaben dieser Anwendungsregel entsprechen. Einzelne Projektmitglieder sind auch aktive Mitarbeiter im IEC 61980-2 „Electric vehicle inductive charging systems“, weshalb die Projektergebnisse auch den internationalen Stand der Technik widerspiegeln.

I. Zukunftsaussichten und weiterer F&E-Bedarf

Die im Rahmen des Teilvorhabens gewonnenen Erkenntnisse sollen, nach derzeitiger Planung, in unmittelbarer Nachfolge zum Teilvorhaben in Produktentwicklungen einfließen und die Projektpartner in die Lage versetzen, eine Spitzenposition auf Ihrem jeweiligen Gebiet einzunehmen.

Die Erarbeitung entsprechender Geschäftsmodelle bzw. -pläne wird nun erfolgen. Durch Öffentlichkeitsarbeit und Marketingaktivitäten wird sich die Conductix-Wampfler AG, basierend auf den bisherigen Technologieansätzen, begleitend versuchen im Markt als führender Technologieanbieter zu positionieren und frühzeitig beginnen, entsprechende Strukturen zur Vermarktung von Lösungen zur kabellosen Ladung von Elektrofahrzeugen (Batterieelektrische Fahrzeuge und ggf. auch Plug-in Hybride) aufzubauen. Das zur Förderung beantragte Teilvorhaben ist als ergänzender Teil eines firmeninternen Business Development Vorhabens zu sehen, in das eigene Mittel seitens des Unternehmens eingebracht wurden.

Seitens Conductix-Wampfler werden Synergieeffekten mit anderen Marktfeldern sowohl in bereits bearbeiteten Märkten (z.B. in der Fördertechnik und der Logistik) als auch in gerade entstehenden neuen Marktsegmenten, wie z.B. Elektrofahrzeugen im ÖPNV, in Vergnügungsparks, Freizeitfahrzeugen, erwartet. Im Zuge des angestrebten Unternehmenswachstums ist vorgesehen, diese Marktsegmente ebenfalls zu bearbeiten.

Ein wesentlicher, noch zu vollziehender Schritt, wird die Demonstration in größeren Flottenversuchen sein. Das Gesamtvorhaben hat im beantragten Fördervolumen hierauf hingeführt, es wurden jedoch

keine ausreichend große Fahrzeugflotte abdeckt, um hier eine Durchbruchsdemonstration zu ermöglichen. Hier sind Nachfolgeaktivitäten zu prüfen.

Seitens der Röchling Automotive AG& Co KG steht eine Überprüfung entsprechender Geschäftsmodelle, begleitend zum Teilvorhaben, ebenfalls an. Eine Umsetzung in nachfolgende Produkte ist angesichts der derzeit prognostizierten Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen als sehr wahrscheinlich anzusehen. Insbesondere da hier Kernkompetenzen und traditionelle Produkte von Röchling Automotive unmittelbar betroffen sind.

Detaillierte und fixierte Geschäftspläne sind angesichts der vielen Unbekannten eines Marktes, der gerade anfängt, sich zu entwickeln und wahrscheinlich den Automobilmarkt ein ganzes Stück weit verändern wird, derzeit nicht realistisch. An dieser Stelle kann daher auch kein abschließender Verwertungsplan aufgeführt werden.

Von einer wirtschaftlichen Verwertung der Erkenntnisse aus dem Teilvorhaben ist damit auszugehen. Alle bisherigen Marktkontakte lassen mittlerweile von einer breiten Akzeptanz des kabellosen Ladens von Elektrofahrzeugen ausgehen.

Durch die Beteiligung am Projekt „Kabelloses Laden“ sammelte Daimler erste Erfahrungen über das Verhalten der Batterie- und Hochvoltsysteme unter den neuen Einsatzbedingungen beim kabellosen Laden.

Die gewonnenen wissenschaftlich-technischen Ergebnisse bieten eine gute Grundlage für die Weiterentwicklung des Systems „Kabelloses Laden“ und sollen mit batteriebetriebenen Fahrzeugen der kommenden Generation ab 2012 in eine erweiterte Erprobung einfließen.

Darüber hinaus lieferten bereits die „kleine“ Felderprobung mit wenigen Fahrzeugen wesentliche Impulse, nicht nur für die zeitnah anstehende Standardisierung solcher kabelloser Ladesysteme für Elektrofahrzeuge, sondern gibt auch erste wichtige Hinweise für das zukünftige Nutzungsverhalten und die Anwendungsbreite.

Die Erkenntnisse des Vorhabens werden unmittelbar in die Weiterentwicklung der Fahrzeuge einfließen. Hierdurch wird die Schaffung und Sicherung von Know-how und Arbeitsplätzen, besonders im Bereich Spitzentechnologie, beim Fahrzeughersteller, der Zulieferindustrie und nicht zuletzt den Anwendern erreicht. Der zukünftige Einsatz in Versuchsflotten wird die Wahrnehmung dieser Technologie in der Öffentlichkeit verstärken und die ökologischen Vorteile im Anwendungsfeld des urbanen Individualverkehrs aufzeigen und deren Akzeptanz erhöhen.

Als weiteren F&E-Bedarf sind neben, Sicherheit, wie Erkennung von Lebewesen, Materialforschung zur Reduzierung von Gewicht und Baugröße auf der Fahrzeugseite, Optimierung der Elektronik zur Verbesserung des Wirkungsgrades und die Netzintegration auch die Harmonisierung der elektromagnetischen Schnittstelle, Fixierung eines Regelprinzips für den Basisprozess, Erreichen der erforderlichen EMV-Sicherheit, Darstellung einer sinnvollen Kommunikation für den Ladeprozess, Kommunikation mit dem Energienetz sowie die Übernahme der Eckpunkte der Anwendungsregel (VDE-AR-E 2122-4-2 Elektrische Ausrüstung von Elektro-Straßenfahrzeugen - Induktive Ladung von Elektrofahrzeugen - Teil 4-2: Niedriger Leistungsbereich) zu nennen. Auch im Bereich der Fahrzeugintegration gibt es offene Punkte, wie die Differenzierung durch Bauraum, Gewicht, Aerodynamik, Akustik, Kosten, automatische Positionierung, Entwicklung von Mehrwertdiensten. Ein wesentlicher noch zu vollziehender Schritt ist auch eine Realisierung des kontaktlosen Ladens von Elektrofahrzeugen in größeren Flottenversuchen, um eine Durchbruchsdemonstration zu ermöglichen.

J. Beitrag zu den förderpolitischen Zielen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)

Da das kabellose Laden im Gegensatz zum kabelgebundenen Laden der Elektrofahrzeuge über wesentliche Vorteile, wie Komfort, Vehicle 2 Grid, etc, verfügt, stellt das kabellose Laden der Elektrofahrzeuge eine Art Katalysator bei der Marktdurchdringung der Elektrofahrzeuge da. Aus diesem Grund, ist es wichtig, dass das BMU diese Technologie weiter unterstützt und voranbringt. Hierbei ist es die Förderung eines Großversuchs zum induktiven Laden von Elektrofahrzeugen, wobei die Interoperabilität zwischen den Zulieferern der induktiven Komponente und der Automobilbauer im Fokus stehen muss, vorstellbar.

Eine weitere durch das BMU fördernde Technologie ist die Anhebung der zu übertragenen Leistung von 3 kW auf 22 kW. Hierbei würden die Schwerpunkte auf der Auslegung der primärseitigen Speisespule sowie der sekundären, fahrzeugseitigen Empfängerspule und der jeweils notwendigen Elektronikeinheiten für die angestrebte Ladeleistung von 22 kW liegen. Dabei stellt die Spulenanordnung sowie das fahrzeugseitige Packaging unter Bauraum-, Gewichts- und Sicherheitsaspekten eine besondere Herausforderung für die Gesamtsystemauslegung dar, auch unter dem Aspekt eines angestrebten Gesamtwirkungsgrades >90 % in der Gesamtkette vom Netzanschluss bis zum Hochvoltanschluss an der Fahrzeug-Batterie.

Somit kann das BMU im Wesentlichen unterstützen, dass Deutschland weltweit zum Leitmarkt und Leitanbieter für Elektromobilität wird, da dies für die globale Wettbewerbsfähigkeit Deutschland von entscheidender Bedeutung ist. Zudem werden hiermit die Ziele der Bundesregierung, im Jahre 2020 1 Millionen Elektroautos und im Jahre 2030 6 Millionen Elektroautos auf Deutschlands Straßen bedeutsam zu haben, untermauert.