

NEUE ENERGIEN 2020

Publizierbarer Endbericht

Programmsteuerung:

Klima- und Energiefonds

Programmabwicklung:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)

1 Einleitung

Aufgabenstellung

Ziel des Projektes ist es, ein Elektrofahrzeug für lokal emissionsfreiem Betrieb kombiniert mit akzeptabler Reichweite und attraktivem Fahrverhalten bei wettbewerbsfähigen System- und Fahrzeugkosten darzustellen. Dazu werden ein Wankel Range Extender sowie ein Traktionsmotor entwickelt und in ein repräsentatives Elektroauto integriert. Mit einem zweiten Fahrzeug wird das Potential einer Hochtemperatur- Polymer- Elektrolyt-Membran Brennstoffzelle (HTPEM) Brennstoffzelle anstatt des Verbrennungsmotors zur Stromerzeugung ausgelotet.

Neben der Technologie selbst werden auch die notwendigen Entwicklungswerkzeuge erweitert oder bei Bedarf neu entwickelt.

Die mit Projektende verfügbaren oder vor Markteintritt stehenden Elektrofahrzeuge stellten den ersten, notwendigen Schritt in Richtung Elektromobilität dar.

Neben den zu Projektstart erhältlichen oder in Erprobung stehenden Fahrzeugen, bei denen es sich vorwiegend um Einzelstücke bzw. um Produkte aus einer Kleinserie handelte, waren gegen Ende des Projektes weitere Produkte verschiedener Hersteller (Mitsubishi Mi-EV; Nissan Leaf; Renault Fluence; Chevrolet Volt; Opel Ampera) zu serienreifen Produkten entwickelt worden und standen zumindest teilweise vor der Markteinführung.

Bereits nach den ersten Rückmeldungen aus diversen Testfahrten vor allem unter realen Bedingungen war eine Tendenz zu erkennen, dass die Einschränkungen von rein elektrischen Fahrzeugen hinsichtlich Reichweite und Komfort bei gleichzeitig Fahrzeugklassen-untypischen Kosten weitere wesentliche Entwicklungsschritte in Richtung massentaugliche Elektromobilität notwendig machen würden. Ein wesentlicher Schritt in Richtung erhöhter Durchdringung im Bereich der E-Mobilität wurde durch Beseitigen von Reichweitengrenzen bei moderaten Kosten dem Range Extender Konzept zugetraut.

Demgemäß konnten die Projektziele wie folgt zusammengefasst werden:

- *Lokal emissionsfreier Betrieb kombiniert mit akzeptabler Reichweite und attraktivem Fahrverhalten für den Nutzer bei wettbewerbsfähigen System- & Fahrzeugkosten*
- *Reduktion der CO₂-Emissionen auf 50 % des aktuell vergleichbaren Wertes*

- *Gesamtoptimiertes Geräuschverhalten des Antriebsstranges*
- *Verbesserung der Batterietechnologie*
- *Erforschung der Brennstoffzelle als Range Extender*
- *Schaffung der notwendigen Entwicklungsmethodik*

Schwerpunkte des Projekts

Die genannten Ziele erforderten interdisziplinär direkt gekoppelte Forschungs- und Entwicklungsaufgaben bezüglich Fahrzeugkonzeption, Werkstofftechnik, Mechatronik, Motorentchnik, Simulation, Batteriechemie, Systemregelung, Industrialisierungstechnik, Produktqualität und Systemsicherheit mit folgenden Schwerpunkten:

- Darstellung eines kompakten Light Weight Range Extenders zur Erweiterung der rein elektrischen (Batterie-) Reichweite mit Hilfe einer Verbrennungsmotor-Generator Einheit.
- Erforschung von Batteriesystemen mit effizienter Energiespeicherung, hoher Speicherdichte, hoher Leistungsdichte – sowohl beim Laden als auch Entladen, hoher Lebensdauer, Betriebssicherheit, technisch / industrieller Umsetzbarkeit, konkurrenzfähigen Kosten.
- Darstellung eines effizienten elektrischen Fahrantriebes mit hoher Leistungsfähigkeit, geringem Gewicht und Volumen, geringem Ressourcenbedarf, geeignetem robusten und dynamischen Regelverfahren, konkurrenzfähige Kosten.
- Darstellung einer Fahrzeugsteuerung zur komfortablen Umsetzung des Fahrerwunsches bei gleichzeitig effizienter Verwendung der gespeicherten Energie und Nutzung des Range Extenders.
- Auslegung eines intelligenten Managements der Nebenaggregate wie Heizung, Klimaanlage, Lenkhilfe, mit einer deutlichen Reduktion des Energieverbrauches des Fahrzeuges, unabhängig vom eigentlichen Fahrbetrieb.
- Aufbau eines Sicherheitssystems für die Batterie sowohl im Betrieb als auch für Batteriewechsel während der Wartung.
- Analyse des NVH-Verhaltens (Noise-Vibration-Harshness) unter Einbeziehung der Verbrennung, des Ansaug- und Auspuffgeräusches, einer Kapselung und modernen geräuschhemmenden Motorbauteilen.
- Aufbau eines Elektrofahrzeuges der 2. Generation als Forschungsträger zur Untersuchung des Verhaltens im Real- und Langzeitbetrieb sowie zur Validierung der Forschungsergebnisse (Komponenten- und Gesamtsystemeigenschaften).

Einordnung in das Programm

Dieses Projekt war Teil der laufenden österreichischen Forschungsinitiative zum Thema „Elektromobilität“. Mit dem entwickelten und realisierten Range Extender Konzept sollte ein wesentlicher Schritt in Richtung erhöhter Durchdringung im Bereich der E-Mobilität durch Beseitigung von Reichweitengrenzen bei moderaten Kosten erreicht werden.

2 Inhaltliche Darstellung

SIMULATION & SYSTEMENTWICKLUNG

Im Rahmen des Arbeitspaketes Simulation & Systementwicklung wurden mit dem Ziel der Reduktion der Entwicklungszeit und des Aufwandes im Entwicklungsprozess Prozesse, Verfahren & Methoden erforscht, die sich für das Design und die Realisierung derartig neuer Systeme eignen. Dabei waren folgende Schritte notwendig.

- Untersuchung unterschiedlicher Methodiken für die Systementwicklung (z.B.: modellbasierte Methoden)
- Entwicklung von Kommunikationsschnittstellen zwischen unterschiedlichen Arbeitsgruppen (auch verteilt in unterschiedlichen Firmen) – z.B. Batterieentwicklung und Traktionsantriebsentwicklung;
- Untersuchung, ob durch die Etablierung einer gemeinsam genutzten Systembeschreibungssprache (Abstraktion) die Untersuchung und Entwicklung von elektrischen Fahrtrieben (auch über verschiedene Ingenieur-Disziplinen hinweg) vereinfacht werden kann (z.B.: Verwendung von SysML und Modelldatenbanken)
- Entwicklung von Qualitätsrichtlinien

Es wurde eine Simulationstoolbox entwickelt, die sowohl die Simulation des Gesamtfahrzeuges als auch Komponentenmodelle inkludiert. Die folgenden Module wurden erstellt

- Gesamtfahrzeugsimulation
- Schnelles und generisches Batteriemodell
- Schnelles Klimaanlagenmodell
- Simulationsmodell Hauptantrieb
- Simulationsmodell DC/DC Wandler
- Simulationsmodell Vakuumpumpe

ENTWICKLUNG RANGE EXTENDER VERBRENNUNGSKRAFTMASCHINE

Auf Basis der Konzeptuntersuchungen im A3+ Projekt „Power Modul für Elektrofahrzeuge“ (PME) wurde in weiteren Entwicklungsschritten das Design der Range Extender Einheit verbessert und in weiterer Folge für Versuchszwecke und Fahrzeugimplementierung mehrfach in Hardware realisiert. Im Wesentlichen wurden folgenden Maßnahmenpakete umgesetzt.

Thermodynamische Maßnahmen

Auf Basis der ersten Messergebnissen wurden Einlass- und Auslassgeometrie sowie die Lage der Einspritzdüse stark verändert, um auf diese Art eine Verbesserung der Gemischaufbereitung bei reduzierten Strömungsverlusten zu erzielen.

Neue Energien 2020 - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Packaging Maßnahmen

Obwohl sich das ursprüngliche Packagingkonzept (siehe Abbildung 1) als grundsätzlich tragfähig erwiesen hat, wurde nach einer Evaluierung unter Berücksichtigung von Meßergebnissen und akustischen Anforderungen eine neue Variante des Konzepts erstellt und umgesetzt.

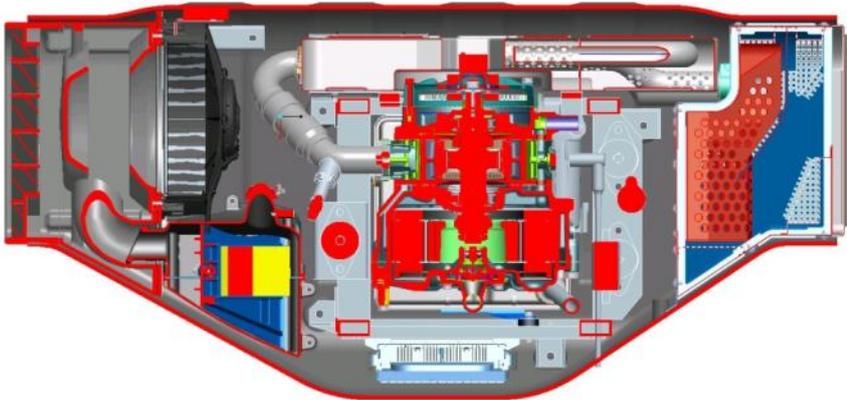
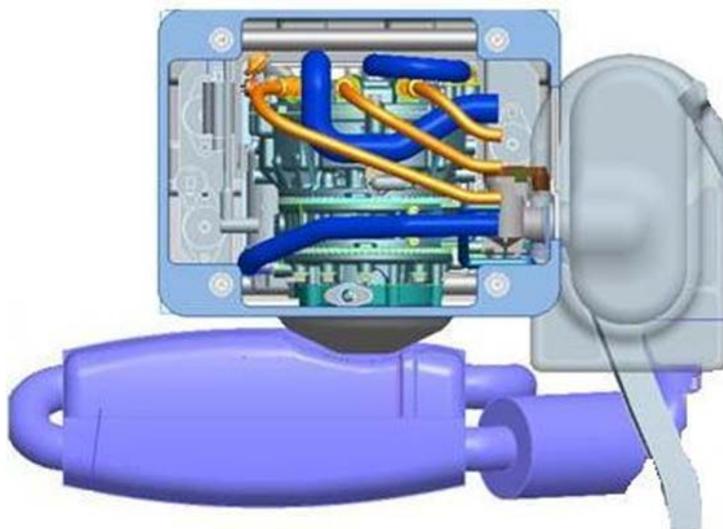


Abb. 1: Packaging der ersten Generation



Der bekannte Gesamtverbund wurde in eine Motor-Generator Einheit mit Kapselung, eine Einlasstrecke mit Kapsel und integrierte Resonatoren sowie in eine außenliegende Abgasanlage (ebenfalls mit integrierten Resonatoren) aufgelöst.

Die Airbox mit vergrößertem Luftfilter ermöglichte reduzierte Ansaugdruckverluste und die gesamte Konfiguration sorgte für eine erhebliche Verbesserung der thermischen Randbedingungen für stabilen Vollastbetrieb.

Abb. 2: Überarbeitetes Packaging

Akustische Entwicklung:

Als begleitende Maßnahmen wurden im überarbeiteten Design verschiedene Baugruppen und auch Betriebsarten in Richtung akustischer Gesamteindruck optimiert. Die Auswirkungen der Entwicklungsschritte sind nachstehend für einen Niedriglastmodus, also bei geringen Fahrzeuggeschwindigkeiten (<50 km/h) und dadurch bedingt niedrigem Eigengeräuschniveau bei elektrisch angetriebenen Fahrzeugen, dargestellt. In diesem Modus wird das Betriebsgeräusch eines laufenden Range Extender mangels Abrollgeräusch zur dominierenden Geräuschquelle.

Die Modifikationen an verschiedenen Komponenten führten zu einer signifikanten Reduktion des Schallpegels um 8dBA, wurden daher weitestgehend konstruktiv umgesetzt.

Verbrauch & Emissionierung

Für die überarbeitete Range Extender Einheit wurden im Zuge der Erprobung thermodynamische Eckdaten ermittelt. Das resultierende Verbrauchskennfeld (Abbildung 25), das für den relevanten Bereich zwischen 3000 und 5000 U/min ermittelt wurde, zeigt einen günstigen Verbrauch im angestrebten Betriebsbereich von 4000-5000 U/min bei Last im Bereich des Auslegungspunktes von 15kW.

Für eine Bewertung der Emissionen wurde der NEDC (New European Driving Cycle) herangezogen. Dieser standardisierte Zyklus wurde so gefahren, dass nach Durchlaufen des Zyklus eine ausgeglichene Batteriebilanz ausgewiesen wurde, d.h. SOC (State of Charge) am Beginn und Ende des Tests waren auf gleichem Niveau.

Als mögliche Betriebsstrategie wurde der RE für den Startvorgang auf Nenndrehzahl hochgeschleppt und sofort bei Volllast betrieben, um einen Betrieb in ungünstigen Kennfeldbereichen zu vermeiden.

Die Ergebnisse zeigten, dass das primäre Ziel der Entwicklung die Reduktion der HC (Kohlenwasserstoff) Emissionen in der Startphase des RE sein musste, während andere Abgaswerte im Rahmen der Entwicklungstätigkeit zulässige Grenzwerte nicht überschritten.

Forschung höchstfester, leichter und geräuscharmer Sinterkomponenten

Bei der Untersuchung der Motorkomponenten weisen folgende Bauteile Potential zur sintertechnischen Realisierung auf (Abb. 3).

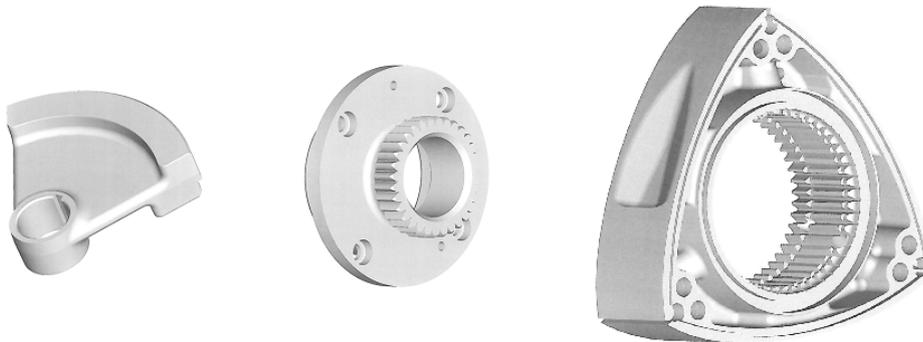


Abb. 3: Potentielle Sinterteile: Massenausgleichsgewicht, Führungszahnrad und Hohlrad

Für das Führungszahnrad wurden besonders wirtschaftliche Sinterprozesse untersucht und geprüft, inwieweit diese den hohen spezifischen Belastungen im Bereich der Verzahnung gerecht werden können. Insbesondere induktiv gehärtete Laufverzahnungen wurden eingehend analysiert.

Bei gesinterten und induktiv gehärteten Laufverzahnungen konnte das erwartete Dauerfestigkeitsniveau noch nicht erreicht werden. Weitere Potentiale dürften in einer Steigerung der Grundfestigkeit des Sinterwerkstoffes und in einer Beeinflussung der verbleibenden Eigenspannungen nach dem Induktivhärten liegen. Beim verspannten Zahnrad konnte eine signifikante Reduktion des Laufgeräusches insbesondere bei wechselnden Momenten gezeigt werden. Bei höheren Betriebstemperaturen reduzierte sich jedoch die Wirkung, da sich der E-Modul mit der Temperatur änderte. Hinsichtlich Verschleißes sind noch Untersuchungen erforderlich.

Für das Hohlrad konnte nach umfangreichen Untersuchungen eine Werkstoff- und Prozesskombination gefunden werden, die die Erwartungen hinsichtlich Dauerfestigkeit erreichen oder auch übertreffen. Das Verzugverhalten liegt deutlich unter jenem einsatzgehärteter Bauteile

und erfüllt somit ebenfalls die Erwartungen, damit besteht großes Potential für die Serienfertigung sowohl von Hohlrädern als auch von außenverzahnten Sinterzahnradern ohne Hartfeinbearbeitung.

ELEKTRISCHER GENERATOR

Weichmagnetische Sinterwerkstoffe für den Generator

Zur Untersuchung von magnetischen Werkstoffeigenschaften wurde eine standardisierte Probengeometrie verwendet. Für diese Proben wurde eigens ein Presswerkzeug angefertigt, unterschiedliche SMC Werkstoffe verpresst und mit verschiedenen Wärmebehandlungen ausgehärtet. Es wurde eine spezielle Messvorrichtung aufgebaut, mit deren Messergebnissen die Parameter des Herstellprozess optimiert werden konnten.

SMC Prüfring



Messeinrichtung



Auswertung

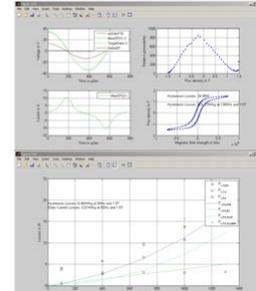


Abb. 4: SMC Prüfringe und Messeinrichtung

Parallel dazu wurde auch eine fertigungstechnisch optimierte Ausführung eines weichmagnetischen Ringes für eine Klauenpolmaschine entwickelt und ebenfalls ein Presswerkzeug angefertigt.

RANGE EXTENDER MIT HOCHTEMPERATUR-PEM BRENNSTOFFZELLE (HTPEM)

Antriebssystem des AVL Fuel Cell Commuter (FCC)

Der AVL Fuel Cell Commuter ist ein mit Wasserstoff betriebenes Brennstoffzellenfahrzeug, das zwar optisch an Golf- oder Elektrowägen, die auf Ausstellungsgeländen unterwegs sind, erinnert, das allerdings durch Zuschaltung eines Range Extenders zur Ladung der Batterie eine Reichweitensteigerung auf bis zu 200 Kilometer bei gleichzeitiger Erhaltung der dynamischen Leistung ermöglicht.

Abbildung 20 zeigt das Hauptkonzept des FCC Powertrain Systems, wobei rote Linien elektrische, blaue Linien mechanische und schwarze Linien signaltechnische Verbindungen darstellen. Bei Bedarf unterstützt ein Range Extender (RE) das Antriebssystem, für das aus Kostengründen Bleibatterien anstelle von teureren Lithium-Ionen Batterien verwendet werden. Die Regelung und der Datenaustausch für das gesamte Fahrzeug erfolgen über ein CAN Bus Diagnosetool.

Neue Energien 2020 - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

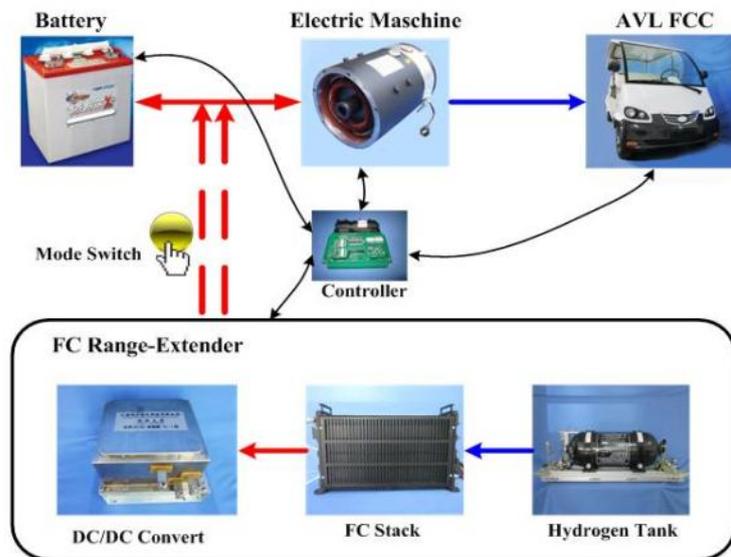


Abb. 5: Antriebssystem des AVL FCC

Der Endzustand des AVL FCC Fahrzeugs bei Fertigstellung ist in Abb. 35 dargestellt.

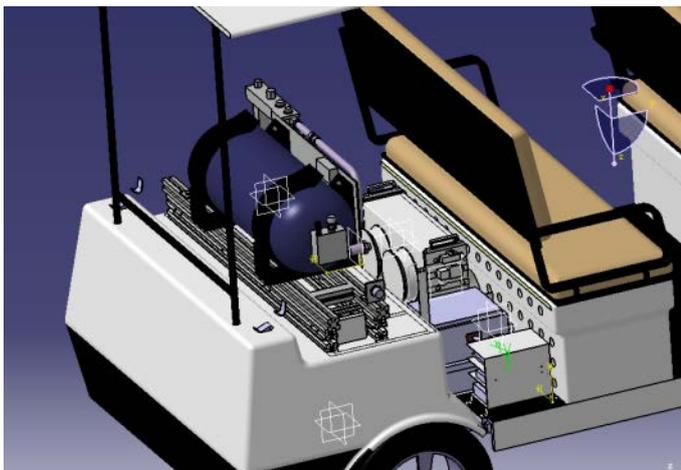


Abb. 6: Umbaudetails und Endzustand

Testphase des Fahrzeuges

Das Brennstoffzellenfahrzeug wurde während der 8-monatigen Testphase in Graz am Betriebsgelände der AVL für interne Transportdienste eingesetzt. Die Wasserstoffbetankung erfolgte am HyCentA in Graz. Der Testbetrieb lief störungsfrei und zur vollsten Zufriedenheit der Betreiber ab. Die Brennstoffzelle zeigte keine Probleme während des Betriebes und auch ansonsten waren keine Schäden an den neuen Bauteilen zu beobachten. Ebenso konnte das AVL Diagnosesystem während des gesamten Einsatzes erfolgreich betrieben werden. Neben der internen Verwendung wurde das Fahrzeug auch zahlreichen Gästen der AVL demonstriert und auf der AVL Jahrestagung „Motor und Umwelt“ im September 2011 nochmals der Öffentlichkeit präsentiert.

ELEKTRISCHER FAHRANTRIEB

Traktionsantrieb

Im Rahmen des Projektes EVARE wurde seitens des Institutes für Energiesysteme und Elektrische Antriebe (vormals Institut für Elektrische Antriebe und Maschinen) als Projektpartner ein elektrisches Antriebssystem für den zukünftigen Einsatz in einem Fahrzeug bestehend aus

- Antriebsmaschine
- Umrichter
- Regelung

entwickelt und gefertigt. Wesentliche Aspekte waren dabei ein möglichst hoher Wirkungsgrad von Motor und Umrichter, eine hohe Energiedichte für den platzsparenden Einbau sowie Vorkehrungen für den sicheren Betrieb der Komponenten.

Das System wurde mittels computergestützter Methoden entwickelt. Es wurde zu Test- und Messzwecken ein Motorprüfstand aufgebaut. Ein weiterer Aspekt war die Entwicklung von entsprechenden Simulationsmodellen und deren Verifikation mit gemessenen Ergebnissen.

Nach Vorgabe der Maximal-Außenabmessungen wurde eine Permanentmagnet-Synchronmaschine



Abb. 7: Stator mit Zweischicht-Zahnspulenwicklung

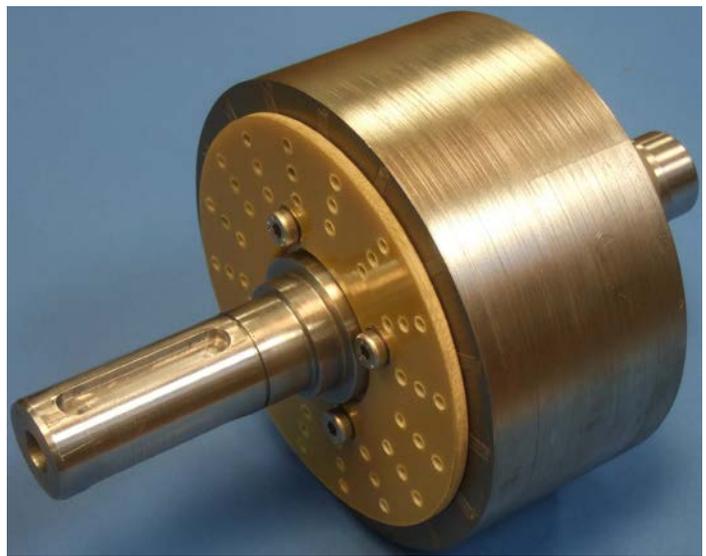


Abb. 8: Rotor Welle und Wuchtplatte

als Antriebsmotor entwickelt und gefertigt. Unter dem Aspekt eines hohen Wirkungsgrades wurde als Wicklungstopologie eine konzentrierte Wicklung (Zahnspulenwicklung) gewählt.

Bei der Entwicklung und Fertigung von Traktionsmotor und Umrichter wurden folgende Ziele erreicht:

- Herstellung eines Maschinenprototyps für den Laborbetrieb
- Aufbau eines Motorprüfstandes und Messung des Kennlinienfeldes
- Dauerleistung 30 kW bei Drehmoment 160 Nm (Kühlmitteltemperatur 25°C, Zwischenkreisspannung 232-240 V, Spannungsreserve 17%)

Neue Energien 2020 - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft
FFG

- Funktionsfähiger Umrichter
- Betrieb bis 55 kW Dauerleistung, für höhere Leistungen kann die Zwischenkreisspannung erhöht werden. Laut Verlustsimulation und den Werten aus dem Datenblatt ist eine maximale Scheinleistung von 138,6kVA möglich.
- Umrichtervolumen 2,77 l ohne HV-Netzteil. Mit Berücksichtigung von Anschlüssen und Freiraum für Kabel etc. ist eine Implementierung im Zielfahrzeug machbar
- Leistungsdichte bei angenommenen 100kW laut Produktbeschreibung: 33,5 kW/l

DESIGN NEUER, HOCH EFFIZIENTER UND KOMPAKTER UND KOSTENGÜNSTIGER LADE- UND ENTLADEEINRICHTUNGEN FÜR DEN PRIMÄREN ENERGIESPEICHER DES ELEKTROFAHRZEUGES

Hauptsächlich wurde am Grundkonzept eines „Systemträgers“ weiterentwickelt. Der Systemträger vereint derzeit folgende Komponenten:

- Eingangsgleichrichter
- Primärleitungsteil
- Induktivitäten
- Sekundärleistungsteil
- Schutzeinrichtungen

Alle Komponenten lassen sich wiederum als Baugruppe sehr einfach vor Ort in einem Servicefall austauschen und können bei der Herstellung eigenständig geprüft werden. Des Weiteren sollte die Möglichkeit geschaffen werden, einzelne Systemträger miteinander zusammenzuschalten, damit eine Leistungserhöhung bzw. Leistungsverschiebung möglich wird.

Besonders hervorzuheben ist der Einsatz einer aktiven Gleichrichtung im Ausgangskreis um den Gesamtwirkungsgrad des Ladesystems zu erhöhen. Realisiert wurde mit dieser Technologie eine max. Ladespannung bis 100VDC. Höhere Ladespannungen unter Verwendung dieser Topologie sind derzeit noch schwer zu realisieren, da die Verfügbarkeit der Bauteile noch nicht gegeben ist. Gespräche mit potenziellen Bauteilherstellern wurden geführt und zeigten eine positive Aussicht in diese Richtung.

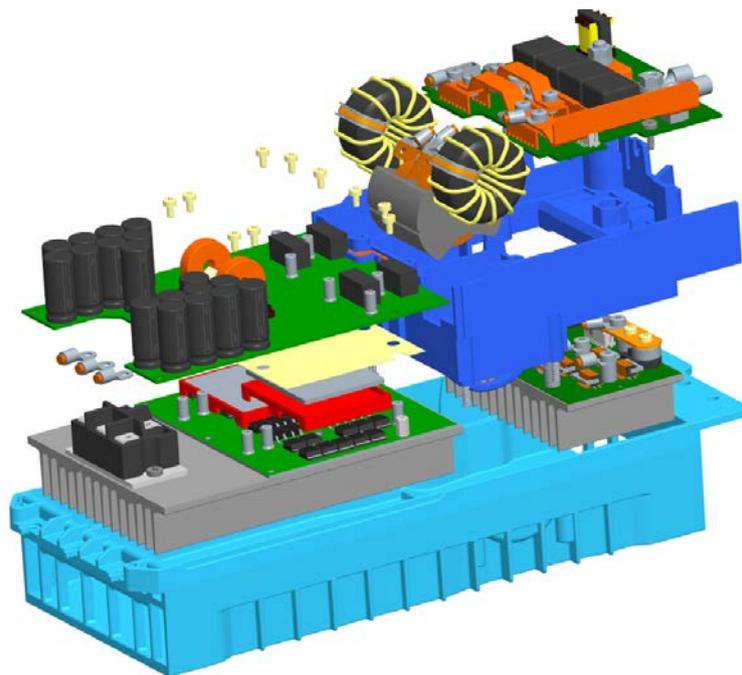


Abb. 8: Ansicht kompletter Systemträger

Ein weiteres Highlight ist das völlig neue thermische Gesamtkonzept zur Erhöhung der Lebensdauer und der Reduktion der thermischen Übergangsverluste.

ELEKTRISCHER ENERGIESPEICHER

Für den Aufbau des EVARE Demonstratorfahrzeugs wurde unter Berücksichtigung des Terminplans eine Lösung für den Aufbau der Hochspannungsbatterie gewählt, die in der Frühphase des Projekts bereits konzeptionell zur Verfügung stand. Für den eigentlichen Aufbau der Batterie wurden Zellpakete auf Lithium-Ionen Basis verwendet, die dem zur Verfügung stehenden Bauraum im Fahrzeug entsprechend in T-Form angeordnet wurden.

Im Rahmen des Projekts wurden weitere Maßnahmen zur Verbesserung des Leistungsgewichts und der Energiedichte von Li-Ion Batterien für den Einsatz in Hybrid- und Elektrofahrzeugen erarbeitet.

Die Darstellung zeigt die typische, übliche Anordnung von Modulen innerhalb einer Hochspannungsbatterie, wie sie auch für den Aufbau der EVARE Batterie verwendet wurde.

Dabei werden Zellmodule in eine tragenden Struktur integriert, die durch Gewicht und Volumen sowohl Ladekapazität des Zielfahrzeugs als auch elektrische Reichweite in weiterer Folge beeinflusst.



Abb. 9: Batterieaufbau mit Trägerstruktur

Neue Energien 2020 - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

SYSTEM INTEGRATION

Fahrzeugaufbau

Der prinzipielle Aufbau der Hoch- und Niederspannungsarchitektur des Fahrzeuges wurde nach Einbauuntersuchungen und Berechnungen wie folgt festgelegt (Abbildung 10).

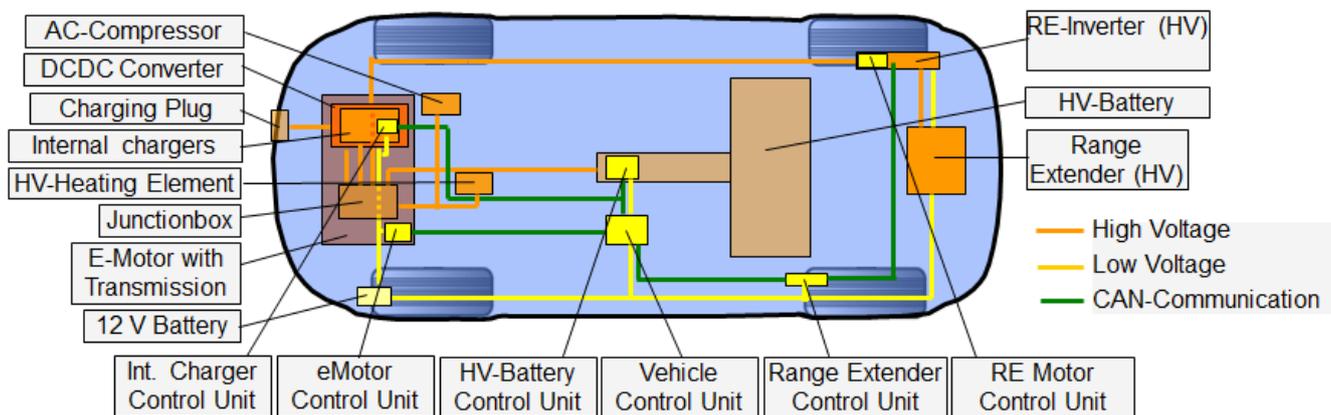


Abb. 10: Elektrische Fahrzeugarchitektur

Layout Fahrzeug und Integration der Hybridkomponenten

Die Komponenten des hybriden Antriebsstranges wurden in CAD erfasst und vor der physischen Integration in Packaging Untersuchungen so angeordnet, bis eine realisierbare Anordnung gefunden wurde.

In den folgenden Darstellungen sind – soweit möglich - jeweils die konstruktive Darstellung und die in Hardware realisierte Umsetzung dargestellt.

Range Extender Modul:



Abb. 11: Range Extender Einheit in CAD und Einbauzustand (Untersicht ohne Heckschürze)

Neue Energien 2020 - 2. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Layout Motorraum

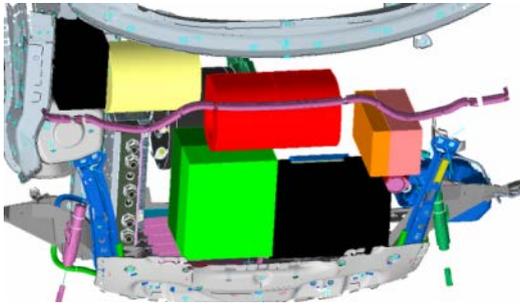


Abb. 12: CAD Studie und Umsetzung in Demonstrator

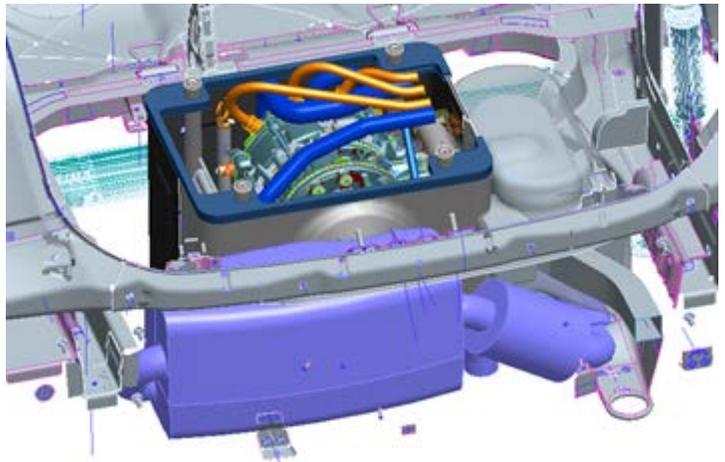


Abb. 13: Anordnung RE im Hinterbau (nächste Generation)

Nach Abschluss des Zusammenbaus stand ein voll funktionsfähiges Demonstratorfahrzeug mit Range Extender und nachstehenden Spezifikationen für weitere Untersuchungen und Optimierungen zur Verfügung.



Abb. 14: EVARE Demonstrator in Probetrieb

1.

3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Das in einem von der FFG geförderten Projekt „Powermodul für Elektrofahrzeuge“ (PME) entwickelte Grundkonzept eines Range Extender (RE) wurde in diesem Projekt in Hardware umgesetzt. Dieser RE wurde in ein Demonstratorfahrzeug integriert, das zuvor von konventionellem Antrieb auf elektrischen Antrieb umgerüstet wurde. Der Um- und Aufbau der Fahrzeuginfrastruktur wurde in wesentlichen Elementen von Ergebnissen des EVARE Projekts unterstützt.

Die Ergebnisse zeigten, dass

- die Größe des Range Extenders (Wankelmotor, Generator, Leistungselektronik) in etwa nur die Hälfte einer vergleichbaren Einheit mit einem herkömmlichen Verbrennungsmotor beträgt.

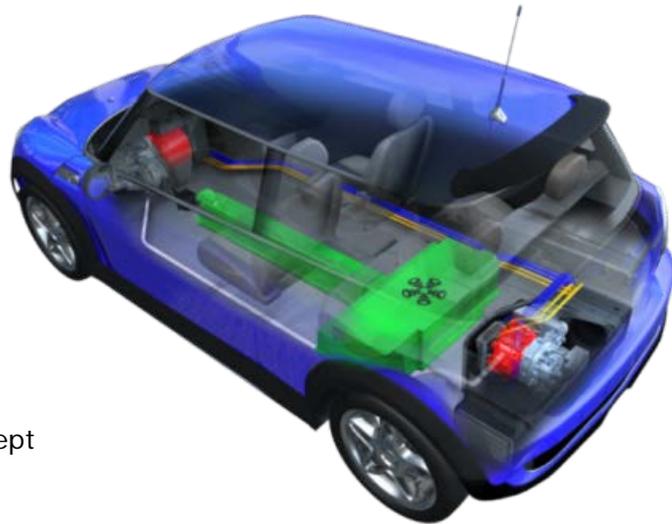


Abb. 15: EVARE Fahrzeugkonzept

- das NVH Verhalten die hohen Erwartungen erfüllte. In einem Benchmark mit vergleichbaren Fahrzeugen mit herkömmlichem Verbrennungsmotor waren für den Fahrer und auch für die Außenwelt die Vorteile ganz offensichtlich,
- der Wankelmotor des Range Extender nach einer Überarbeitung des Designs der ersten Baustufe (PME) den Haltbarkeits- und Emissionsanforderungen prinzipiell gerecht werden kann,
- das Fahrverhalten des Demo Fahrzeuges der 1. Ausbaustufe zufriedenstellend war. Im Zuge des Projekts wurde noch eine Reihe von Weiterentwicklungen implementiert, die unter anderem das Rekuperationsverhalten (variable Rekuperation) und die Betriebsstrategie (Anzahl und Parameter der Betriebspunkte des Range Extender) des Fahrzeuges betrafen,
- für den Fahrzeugnutzer durch den Einbau des Range Extender keinerlei Einschränkungen im Fahrgastraum oder im Kofferraum vorhanden waren. Im Gegensatz zu Elektrofahrzeugen, die ausschließlich mit Batterien ausgestattet waren, bedeutete dies einen ganz wesentlichen Vorteil, weil aufgrund des hier notwendig kleineren Batteriesystems der Laderaum nicht eingeschränkt wurde.

Neben der eigentlichen Darstellung der Technologie in Form eines Demonstrators lag ein Schwerpunkt des Projektes darin, eine umfassende Entwicklungsmethodik für Elektrofahrzeuge mit

Range Extender darzustellen. Diese Methodikentwicklung wurde zu einem großen Teil von den wissenschaftlichen Partnern abgedeckt, die nach leichten Verzögerungen zu Projektbeginn auf Basis einer kostenneutralen Projektverlängerung die geplanten Umfänge weitestgehend abarbeiten konnten.

4 Ausblick und Empfehlungen

Grundsätzlich wird die Implementierung von Range Extender Einheiten zur Verbreitung der Elektromobilität und zur generellen Reduktion von CO₂ und anderen Emissionen, bei hohen Anteilen regenerativer Energiegewinnung oder zumindest zur lokalen Reduktion von Emissionen in Ballungszentren („Mega Cities“) weltweit als sinnvoll erachtet. Demgemäß sind Range Extender Konzepte aller Ausprägungen bei verschiedensten Herstellern (z.B. Volvo mit verschiedenen Konzepten, Suzuki) in Vorbereitung oder bereits kurz vor Markteintritt (Chevrolet Volt, Opel Ampera).

Der im EVARE Projekt durchgeführte Aufbau eines Demonstratorfahrzeugs und die Entwicklung sowie der Reifegrad des Gesamtsystems wurden im Rahmen verschiedener Präsentationen den Interessenten, primär OEMs aus der Automobilindustrie vorgeführt. In einem Fall wurde das erarbeitete Konzept von einem OEM zuerst erfolgreich in ein spezifisches Demonstrationsmodell übernommen und in weiterer Folge als Basis für einen Flottenversuch verwendet.

Nichtsdestotrotz haben sich im Laufe des Projekts für diverse Entwicklungsbereiche Aufgaben- und Fragestellungen ergeben, die im Rahmen von weiterführenden Projekten und Untersuchungen Lösungen zugeführt werden sollen. Diese Felder umfassen unter anderem die Emissionsentwicklung des verwendeten Range Extender Systems in Richtung EURO6 Abgasgrenzwerte, die vollständige Implementierung der gültigen Sicherheitsstandards (z.B. ISO 26262), die Implementierung erweiterter Komfortfunktionen für Heizung und Klimatisierung von elektrifizierte Fahrzeugen sowie die Anpassung der Betriebsstrategien in Richtung Emissionsoptimierung, Kostenminimierung (Batteriekapazität vs. RE Leistung) und akustische Randbedingungen.

Das AVL Brennstoffzellenfahrzeug (AVL Fuel Cell Commuter) steht ab Dezember 2011 wieder dem AVL List Lehrstuhl (Tongji) für weitere Forschungsarbeiten zur Verfügung. Es ist geplant, einen neuen Motor- und Batterieumrichter einzubauen, mit dem auch die Rekuperation von Bremsströmen möglich sein wird. Um die Energien solcher Rekuperationsbremsungen in einem hohen Maß speichern zu können, sollen auch anstelle der Bleibatterie Lithium-Ionen Batterien integriert und deren Einfluss auf das Betriebsverhalten des Fahrzeuges untersucht werden.

5 Literaturverzeichnis

- [1] Dr. Robert Fischer
"The Electrification of the Powertrain – from Turbohybrid to Range Extender"
30. Internationales Wiener Motorensymposium 2009, 8.-9.5.2009
- [2] Beste, F.; Fischer, R. Ellinger, R.; Pels, T.
„The Pure Range Extender as Enabler for Electric Vehicles“,
21. Internationale Konferenz "Motor & Umwelt, Graz, 10.-11.10.2009
- [3] Dr. Frank Beste, Dr. Raimund Ellinger, Dr. Günter Karl Fraidl, Thomas Pels, Bernhard Sifferlinger, Klaus-Peter Zeyen;
AVL's Pure Range Extender – The Enabler for Electric Mobility
4th International Environmentally Friendly Vehicle Conference; 23.-24.11.2009, Delhi, India
- [4] G. K. Fraidl, Ch. Hubmann, R. Kunzemann, B. Sifferlinger, V. Benda
„Range Extender - Was kommt nach Hybrid ?“
ATZlive-Konferenz "Energie 2010 CO2 - Die Herausforderung für unsere Zukunft"
München, 26.-27.1.2010
- [5] G. K. Fraidl; F. Beste; P.E. Kapus, M. Korman; B. Sifferlinger; V. Benda
„Der Range Extender im Praxiseinsatz“;
31. Wiener. Motorensymposium 29.-30.4.2010
- [6] UCHIYAMA, Masashi; BESTE, Frank; SIFFERLINGER, Bernhard; KORMAN, Matjaz,
"Electric Mobility Enabled by a Most Compact Range Extender", JSAE 20.5.2010; Tokyo
- [7] D. Andessner, R. Kobler, J. Passenbrunner, W. Amrhein,; "Measurement of the magnetic characteristics of soft magnetic materials with the use of an iterative learning control algorithm" auf der VPPC 2011 in Chicago, USA
- [8] R. Kobler, D. Andessner, J. Passenbrunner, W. Amrhein; "Modeling, Simulation and Design of an Axial Flux Machine using Soft Magnetic Composite" auf der VPPC 2011 in Chicago, USA;
- [9] J. Passenbrunner, D. Andessner, R. Kobler, W. Amrhein,; "Modeling, Simulation and Design of a Claw Pole Machine using Soft Magnetic Composites" auf der VPPC 2011 in Chicago, USA;
- [10] Alfred Rust, Bernhard Graf
"NVH of Electric Vehicles with Range Extender"
6th International Styrian Noise, Vibration & Harshness Congress; Graz, 9.-11.6.2010
- [11] Dr. Frank Beste, Dr. Klaus Denkmayr, Dipl.-Ing. Andreas Ennemoser, Dr. Volker Hennige, Dr. Hannes Hick, Dr. Mario Schweiger, Dr. Uwe Wiedemann, Dipl.-Ing. Franz Zieher
"Real-world Testing: Robustness, Reliability & Safety of Battery Packs for Electric Vehicles"
25th Electric Vehicle Symposium EVS-25 Shenzhen, China; 5.-8.11.2010