

- 1 Fa»Fraunhofer e-concept car  
Typ 0 – Frecc0« mit Radnaben-  
motoren bei Testfahrten auf  
Prüfgelände..
- 2 Schnittdarstellung des Rad-  
nabenmotors im Fahrwerk.

## LARA - LUFTGEKÜHLTER RADNABENMOTOR MIT HOHER DREHMOMENTDICHTE AUF BASIS GEGOSSENER ALUMINIUMSPULEN

### Fraunhofer Systemforschung Elektromobilität

Antriebsstrang und Fahrwerk  
Sprecher:  
Dr.-Ing. Bernd Eckardt

Kontakt:  
Dr. rer. nat. Hermann Pleteit  
Fraunhofer IFAM

Telefon +49 421 2246 199  
Telefax +49 421 2246 77 199  
hermann.pleteit@ifam.fraunhofer.de

[www.elektromobilitaet.fraunhofer.de/lara](http://www.elektromobilitaet.fraunhofer.de/lara)

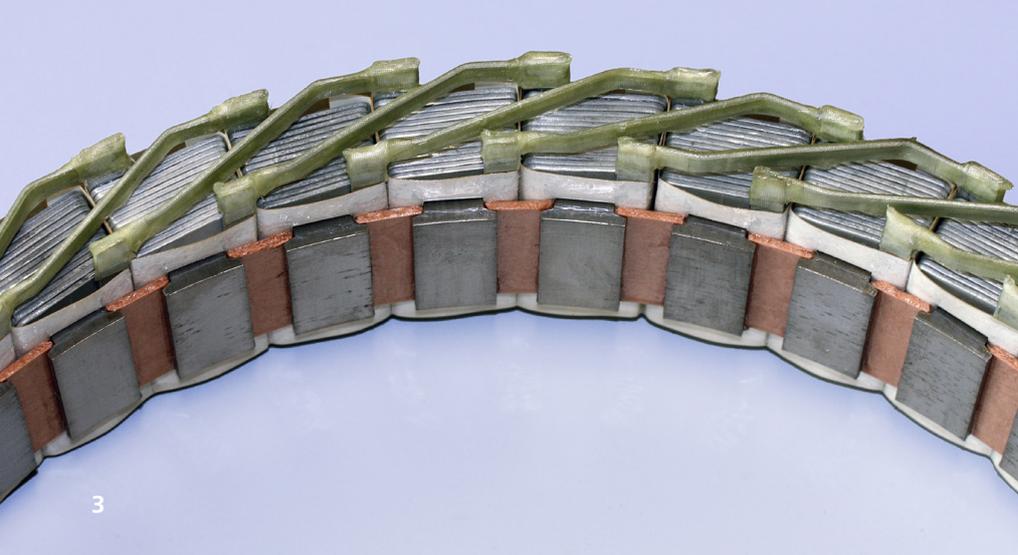
LARA beinhaltet die Entwicklung, Fertigung und Erprobung eines robusten luftgekühlten Radnabenmotors mit hoher Drehmomentdichte, der als Direktantrieb an allen vier Rädern eines leichten Stadtfahrzeugs als Demonstrator zum Einsatz kommt.

Wesentliche Herausforderung ist, einerseits das für die Fahrzeugnutzung im urbanen Umfeld notwendige Drehmoment bei hohen Wirkungsgraden aufzubringen und andererseits eine technologisch einfache Luftkühlung zur Abführung der thermischen Verlustleistungen umzusetzen. Für die Wicklung des Elektromotors werden die vom Fraunhofer IFAM entwickelten gegossenen Spulen mit maximalem Nutzfüllgrad eingesetzt, die zur Minimierung von Rohstoffkosten und Gewicht in Aluminium

ausgeführt werden. Im Ergebnis wird ein wartungsfreies Antriebssystem mit geringen Fertigungskosten bereitgestellt.

### Herausforderung Direktantrieb

Radnabenmotoren bieten die Möglichkeit, Kosten und Energieverbrauch von Elektrofahrzeugen durch den Wegfall von Komponenten des klassischen mechanischen Antriebsstranges zu senken. Zugleich vergrößern diese das Platzangebot im Fahrzeug und ermöglichen die Realisierung aktiver Fahrsicherheitskonzepte durch unabhängige Drehmomenteinstellung an jedem angetriebenen Rad. Die hohen Drehmomentanforderungen an Radnabenmotoren bedingen einen erhöhten Einsatz



kostenintensiver Rohstoffe wie Kupfer und NdFeB-Magneten und erfordern in der Regel eine Wasserkühlung mit entsprechend hohem Aufwand seitens der Fahrzeuginfrastruktur. Außerdem sind aufgrund der unabhängigen Drehmomenteinstellung hohe Anforderungen bzgl. der funktionalen Sicherheit zu erfüllen.

Der am Fraunhofer IFAM entwickelte luftgekühlte Radnabenmotor zeigt die Potenziale innovativer Fertigungstechnik und alternativer elektrischer Topologien auf. Dadurch werden sowohl hohe Antriebsmomente als auch optimale funktionale Sicherheit gewährleistet.

### Gegossene Wicklung

Durch Verwendung gießtechnisch hergestellter Spulen lässt sich der Leiterquerschnitt exakt an den zur Verfügung stehenden Bauraum anpassen. Dies ermöglicht Nutfüllfaktoren bis über 90%, so dass ein maximaler Leiterquerschnitt in der Nut sowie eine optimale thermische Anbindung der Leiter an den Kühlpfad erreicht werden. Dies bewirkt eine erheblich gesteigerte Entwärmung der Wicklung gegenüber konventionellen Drahtwicklungen. Trotz des höheren spezifischen Widerstands des verwendeten Leiterwerkstoffs Aluminium gegenüber Kupfer lassen sich so in der luftgekühlten elektrischen Maschine Stromdichten auf dem Niveau konventioneller wassergekühlter Maschinen erzielen. Insgesamt wird daher eine Senkung von Gewicht und Kosten bei gleichzeitiger Steigerung der Drehmoment- und Leistungsdaten erreicht.

Am Fraunhofer IFAM werden zudem Beschichtungen für die Gusspulen entwickelt, die auch unter erhöhten Betriebstemperaturen die elektrische Isolation sicherstellen. Besondere Herausforderung ist dabei die Beschichtung des fertigen Gussteils. Hierbei muss die Schichtdicke möglichst gering und auch an den Kanten einheitlich sein. Es kommen nasschemische Verfahren, Niederdruck-Plasmaverfahren und die LightPLAS-Technologie zum Einsatz.

### Thermisches Management

Bei luftgekühlten Systemen stellt die Einhaltung der durch Werkstoffe und Fügeverbindungen vorgegebenen Maximaltemperaturen eine ganz besondere Herausforderung dar. Thermische Widerstände im Verlauf des gesamten Transportweges zwischen Wärmequelle und Kontaktfläche zur Kühlluft müssen minimiert werden. Dies erfolgt mittels instationärer 3D-Simulationen der lokalen Temperaturverteilungen, die um die experimentelle Bestimmung ausgewählter thermischer Stoff- und Transportgrößen ergänzt werden.

### Sicherheit im Gesamtsystem

Durch eine innovative elektrische Topologie des Antriebs mit einem aus H-Brücken aufgebauten Antriebsumrichter werden die Auswirkungen von Fehlern durch Bauteilausfälle oder Kurzschlüsse minimiert. Damit wird im Zusammenspiel mit dem Motorsteuergerät unter Berücksichtigung der An-

forderungen der funktionalen Sicherheit ein im Fehlerfall rekonfigurierbares Antriebssystem zur Verfügung gestellt, so dass durch diese Redundanz bei einem Defekt auftretende Bremsmomente kompensiert werden und damit die Weiterfahrt z. B. zur Werkstatt ermöglicht wird.

### Unser Angebot

- Konzipierung von Antriebssträngen für Hybrid- und Elektrofahrzeuge
- Auslegung und Berechnung elektrischer Maschinen
- Design der Maschinensteuerung in Hard- und Software
- Thermische Simulation des Betriebsverhaltens inkl. experimenteller Validierung
- Entwicklung von Isolationsbeschichtungen und Vergussmassen
- Aufbau von Maschinenprototypen
- Auslegung von Klebverbindungen und Klebstoffauswahl
- Elektrische Prüfung und Funktionstests
- Funktionale Sicherheit elektrischer Antriebssysteme
- Design und Prototypenfertigung gegossener Spulen mit verschiedenen Verfahren (insb. Lost Foam-Verfahren, Feinguss, Druckguss)

**3 Statorblechpaket mit gegossenen Aluminiumspulen und Verschaltung.**