

---

# Von der Idee zum Produkt... Gießereitechnologie und Komponentenentwicklung am Fraunhofer IFAM

Roadshow 2013 – Lightweight Technology

---

Felix Horch, Jan Clausen, Thomas Rahn

---

# Agenda

- **Überblick Fraunhofer-Gesellschaft und Fraunhofer IFAM**
- **Elektrischer Antriebsstrang / Komponentenentwicklung**
- **Gießereitechnologie**
- **Unser Angebot**

# Die Fraunhofer-Gesellschaft im Überblick

## Fraunhofer-Gesellschaft

- Gründung im Jahr 1949
- 66 Fraunhofer-Institute
- 40 Standorte in Deutschland
- 22.000 Mitarbeiter
- 1,9 Mrd. € Forschungsbudget (2012)
  - über 1,6 Mrd. € im Leistungsbereich Vertragsforschung
  - 70% aus Industrie und öffentlichen Forschungsprojekten
  - 30% von Bund und Ländern als Grundfinanzierung



## Fraunhofer-Institut IFAM

- Gründung im Jahr 1969
- Standorte in Bremen und Dresden
- Projektgruppen in Oldenburg und Stade
- 569 Mitarbeiter
- 42,3 Mio. € Gesamthaushalt (2012)
- Institutsteile
  - Formgebung & Funktionswerkstoffe
  - Klebtechnik & Oberflächen

# Arbeitsgebiete des IFAM

## Formgebung und Funktionswerkstoffe

### VOM WERKSTOFF ZUR SICHEREN ANWENDUNG

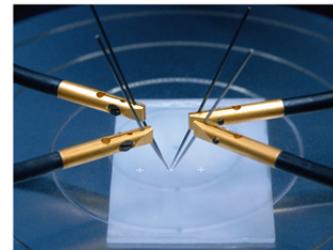
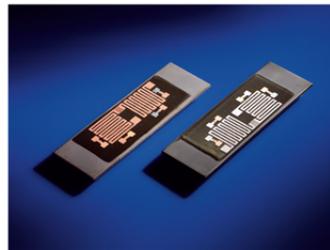
WERKSTOFF

FORMGEBUNG

FUNKTION

PRÜFUNG

ANWENDUNG



- Metall
- Keramik
- Polymer
- Strukturwerkstoffe
- Funktionswerkstoffe
- Werkstoffverbunde

- Pulvermetallurgie
- Gießereitechnologie
- Generative Verfahren
- Nano- und Mikrostrukturierung

- Integration der Funktionalisierung in den Fertigungsprozess
- Sensorik
  - Aktorik
  - Nano- und Mikrostrukturierung
  - Energiespeicher

- Werkstoffanalytik
- Mechanische Prüfung
- Funktionstest
- Systemprüfung
- Gutachten

- Maschinen- und Anlagenbau
- Automobilbau
- Umwelt- und Energietechnik
- Luftfahrt
- Medizintechnik
- Mikrosystemtechnik

# Arbeitsschwerpunkte innerhalb der Abteilung „Gießereitechnologie & Komponentenentwicklung“

## Gießereitechnologie

- Gussteile mit komplexen Geometrien
- Funktionsintegrierte Gussbauteile (Sensorik / Aktorik, RFID-Bauteilkennzeichnung)
- Material- und Verfahrensentwicklung v.a. für Druckguss, Lost Foam-Technologie, Feinguss
- Numerische Simulation, Bauteilanalytik



## Komponentenentwicklung

- Elektrischer Antriebsstrang / Radnabenmotor
- Steuergeräteentwicklung / Leistungselektronik
- Funktionale Sicherheit
- Fertigungstechnik für Elektrische Maschinen, gießtechnische Herstellung von Spulen und Gehäusekomponenten
- Neue Fahrzeugkonzepte für Elektromobilität

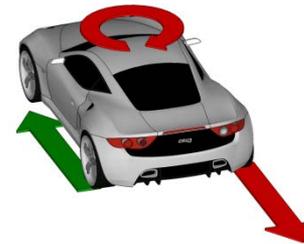


# Agenda

- Überblick Fraunhofer-Gesellschaft und Fraunhofer IFAM
- **Elektrischer Antriebsstrang / Komponentenentwicklung**
- Gießereitechnologie
- Unser Angebot

# Arbeitsgebiete Komponentenentwicklung

## VON DER ENTWICKLUNG ZUR SICHEREN ANWENDUNG IM FAHRZEUG



### ENTWICKLUNG

- Elektromagnetische Auslegung / Simulation elektrischer Maschinen
- Softwareentwicklung Fahrzeugsteuerung, Steuergeräte & Umrichter
- Konstruktion von Antriebssystemen
- Neue Fahrzeugkonzepte für die Elektromobilität

### FERTIGUNG

- Gießtechnische Herstellung von Spulen
- Fertigung komplexer Bauteile für elektrische Maschinen mittels Gießereitechnologie
- Montage prototypischer Antriebssysteme
- Komponentenfertigung Antriebsstrang / Fahrwerk

### PRÜFUNG

- Funktionale Sicherheit von Steuergeräten
- Leistungsprüfung elektrischer Maschinen
- Fehlertoleranz von Antriebssystemen
- Erprobung von Gesamtfahrzeugen

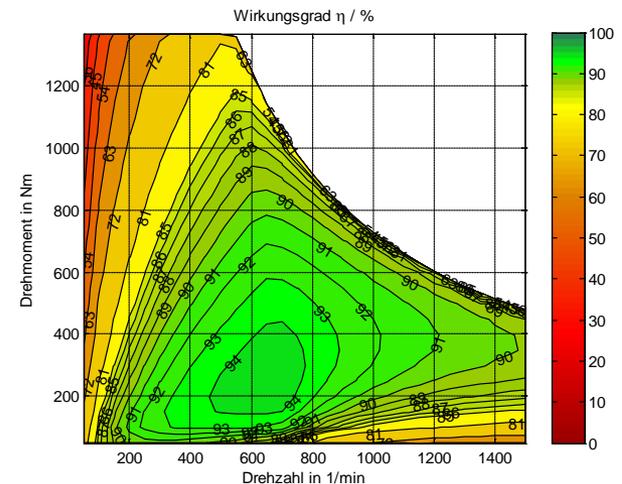
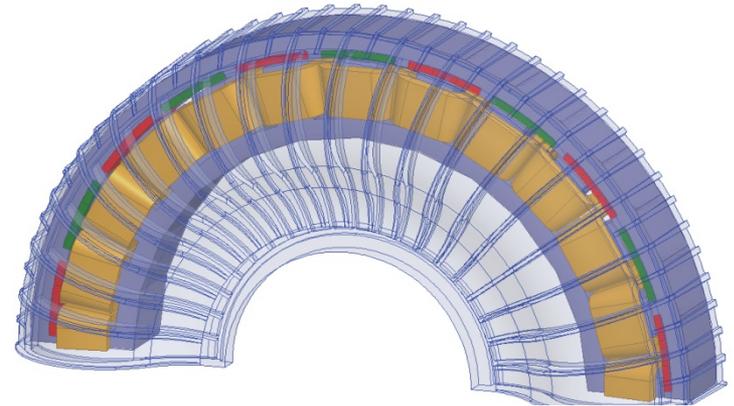
### ANWENDUNG

- Fahrzeugintegration von Komponenten
- Aufbau von Erprobungsträgern und Demonstratorfahrzeugen
- Inhaltliche Ausgestaltung von Weiterbildungsangeboten Elektromobilität

# ENTWICKLUNG

## Auslegung und Simulation elektrischer Maschinen

- Dimensionierung und Berechnung von elektrischen Maschinen (Synchron-, Asynchron-, Gleichstrom- als auch Linearmotoren)
- Grobauslegung elektrischer Maschinen mit Hilfe analytischer Berechnungsverfahren
- Feinauslegung mit Zuhilfenahme numerischer Simulationsprogramme wie (ANSYS / Maxwell 2D/3D / FEMAG 2D)
- Erstellung von Wirkungsgradfeldern aus numerischen Simulationen
- Berücksichtigung verschiedener nichtlinearer Effekte wie Sättigungseinfluss des Bleches, Streuflüsse, Verlustmechanismen z.B. in PM und Wicklung bei verschiedenen Temperaturen
- Detaillierte Berechnung parasitärer Effekte wie z. B.
  - Stromverdrängungen in den Leitern
  - Wirbelstromverluste in leitfähigen Gebieten
  - Drehmomentrippel infolge von Oberwellen

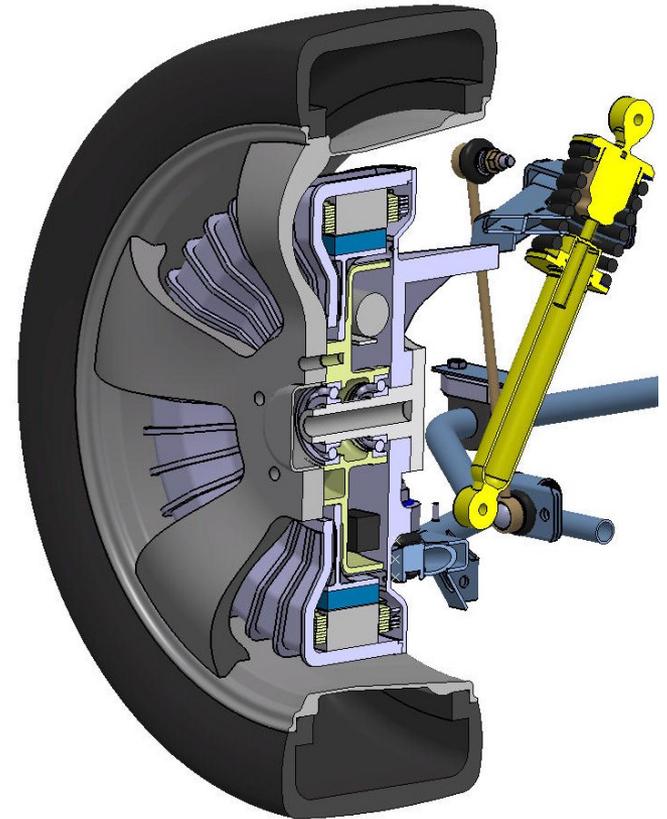


**Bild oben:** 3D-Modell Radnabenmotor  
**Bild unten:** Wirkungsgradkennfeld

# ENTWICKLUNG

## LARA – Luftgekühlter Radnabenmotor

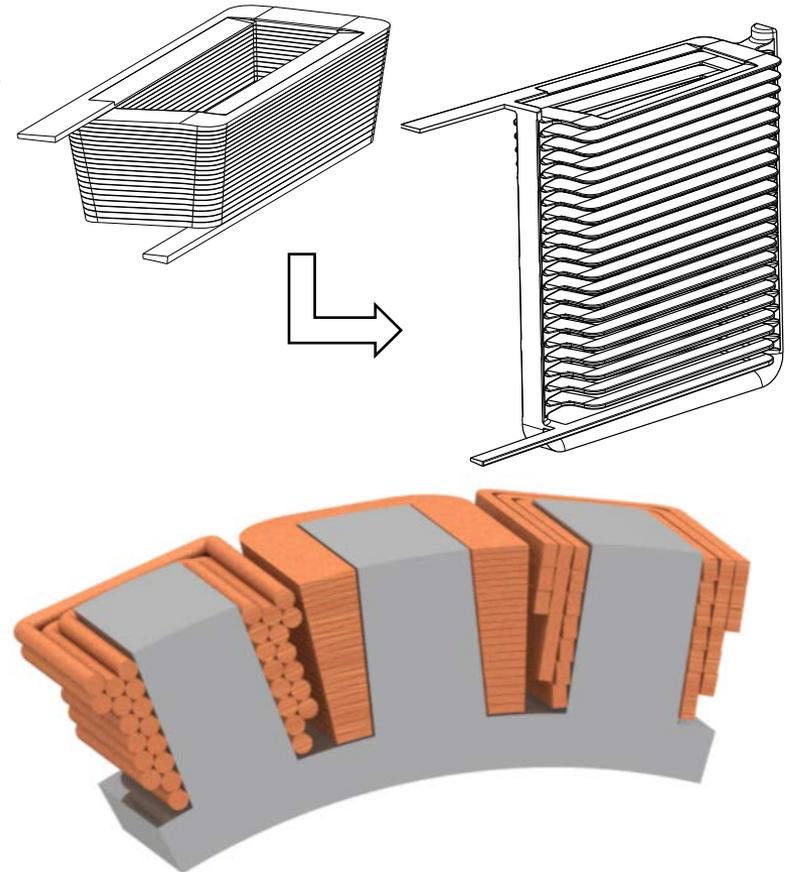
- Luftgekühlter Radnabenmotor mit hoher Drehmomentdichte
- Innovative Wicklung mit gegossenen Aluminiumspulen
- Innenläuferkonzept mit integrierter Bremstrommel
- Erzielbares Dauerdrehmoment **350 Nm**, kurzzeitiges Überlastdrehmoment **500 Nm**
- Mechanische Leistung **15 kW**
- Luftgekühlter Antriebsumrichter mit innovativer 3H-Topologie (Fraunhofer IISB)
- Variable DC-Betriebsspannung unterhalb 120V mittels Multi-Level DCDC-Wandler (Fraunhofer IISB)
- Kühlluftoptimiertes Rad (Fraunhofer LBF)



# FERTIGUNG

## Gießtechnische Herstellung von Spulen

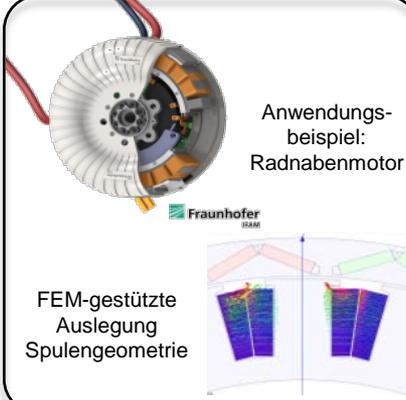
- Idee: Spulen werden nicht gewickelt, sondern mit einem geeigneten Gießverfahren hergestellt
  - Exakte Reproduktion der konstruierten Geometrie
  - Variable Querschnittsgeometrie über die Länge des Leiters
- Flache Leiter mit variabler Breite und Höhe in jeder Spulenlage
  - Nutfüllfaktor bis zu 90%
  - Minimierte Stromverdrängungseffekte
  - Stark verbesserte Entwärmung
- Geometrie wird für den Gießvorgang und die anschließende Isolation auseinandergezogen



**Abb. 1:** Auseinandergezogene und komprimierte Spule

**Abb. 2:** Rundleiter (links), Rechteckleiter (rechts) und gegossene Spulen (mitte) im Schnitt

# FERTIGUNG - Prozesskette zur Herstellung

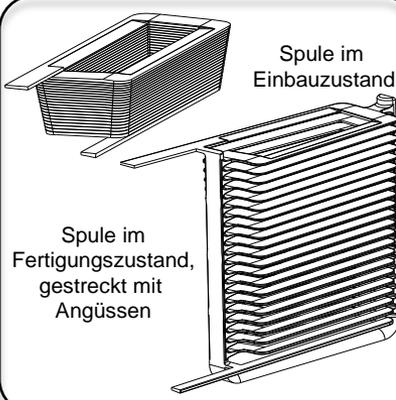


Anwendungs-  
beispiel:  
Radnabenmotor

Fraunhofer  
IFAM

FEM-gestützte  
Auslegung  
Spulengeometrie

**Auslegung**



Spule im  
Einbauzustand

Spule im  
Fertigungszustand,  
gestreckt mit  
Angüssen

**Konstruktion**



Wachsspritz-  
gussanlage  
Modtech C20

Wachsmo-  
dell  
mit Angüssen  
und Speisern

**Modellherstellung**



Einbettanlage  
KWS EB  
10/16S

Eingebettetes  
Wachsmo-  
dell  
 („Küvette“)

**Einbetten**



Küvetten im Wachs-  
Ausschmelzofen Nabertherm  
N/WAX 300

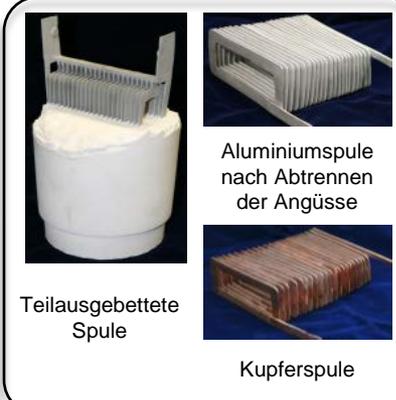
**Ausbrennen**



Gießanlage  
Indutherm VC-650 V,  
Verarbeitung von  
Aluminium und  
Kupfer möglich

Küvette nach  
Abguss

**Abgießen**

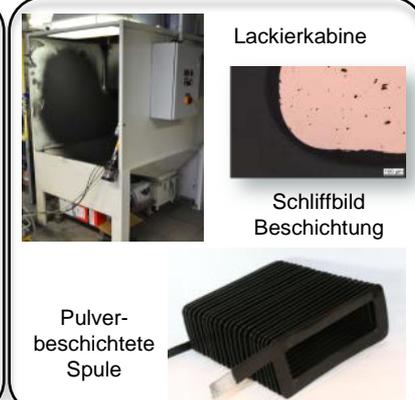


Teilausgebettete  
Spule

Aluminiumspule  
nach Abtrennen  
der Angüsse

Kupferspule

**Ausbetten +  
Nachbearbeiten**



Lackierkabine

Schliffbild  
Beschichtung

Pulver-  
beschichtete  
Spule

**Beschichtung**

# FERTIGUNG

## Anwendungsbeispiel Versuchsergebnisse

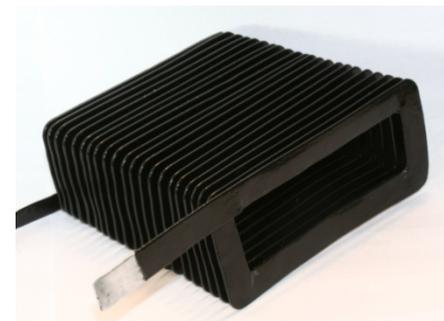
- Fertigung von Aluminium- und Kupferspulen für Radnabenmotor:
- Verwendung des Feingussverfahrens:
  - Fertigung von Wachsmodellen mittels Wachsspritzguss
  - Einbetten der Wachsmodelle in Formmaterial
  - Ausbrennen des Wachsmodells und Abguss von Aluminium oder Kupfer
- Erzielte Leitfähigkeiten:
  - $>57 \text{ MS/m}$  bei Kupfer
  - $>34 \text{ MS/m}$  bei Aluminium
- Beschichtung der Spulen mittels Pulverlacksystem
- Teilentladungsfestigkeiten  $>2\text{kV}$  werden erreicht



**Kupferspule**



**Aluminiumspule**



**Aluminiumspule,  
beschichtet**

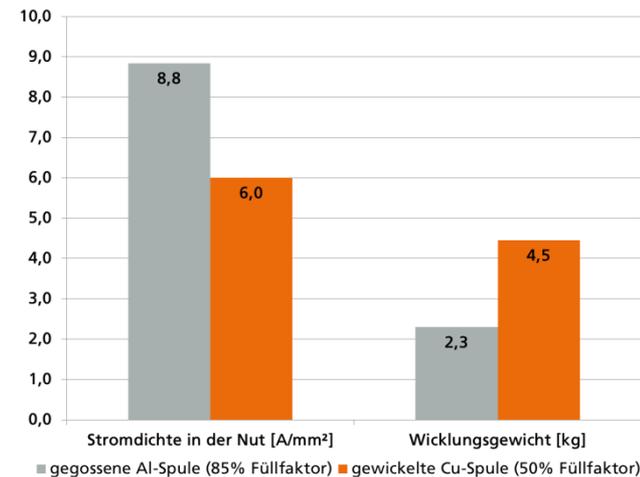
# FERTIGUNG

## Verbesserung der Entwärmung mit gegossenen Spulen

- Bei gegossenen Spulen ist jeder einzelne Leiter in direktem Kontakt mit dem gekühlten Zahn
- Deutliche Verbesserung Entwärmung der Leiter gegenüber gewickelten Spulen
- Verwendung von Aluminium als Leiterwerkstoff
- **Vorteile**
  - Ausbildung einer gleichmäßigen Temperaturverteilung
  - Bessere Ausnutzung des Leitermaterials
  - 50% höhere Stromdichten ggü. gewickelten Spulen möglich



**Gegossene Spule / Thermographieaufnahme**

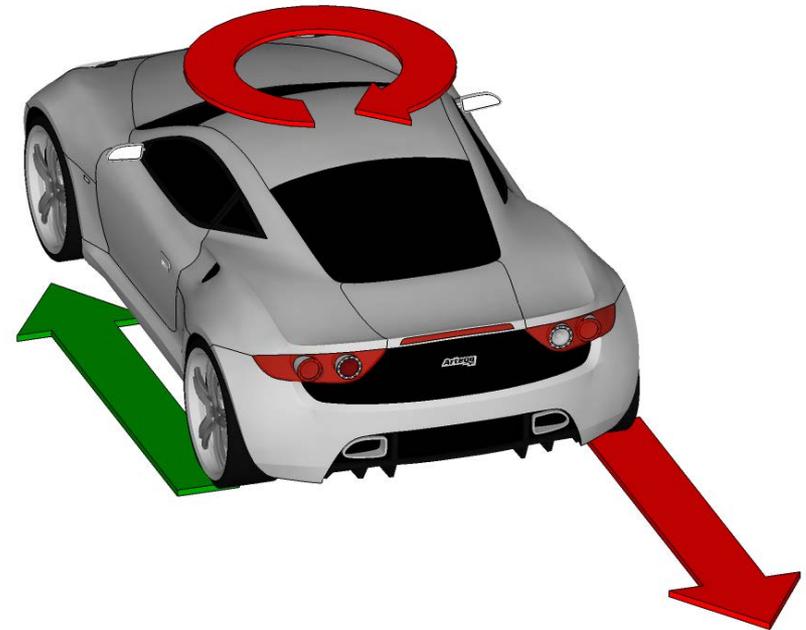


**Vergleich von gegossener Al-Wicklung mit gewickelter Cu-Wicklung**

# PRÜFUNG

## Am Beispiel eines hochintegrierten Radnabenmotors

- Asymmetrische Drehmomentverteilung bei Mehrmotorenantrieb führt zu Giermoment um die Fahrzeughochachse
- Geeignetes Sicherheitskonzept für Fahrzeug erforderlich
  - Reduzierung des Bremsmoments bei elektrischen Fehlern
  - Präzise Regelung des Phasenstroms zur Erhöhung der Drehmomentgenauigkeit
  - Steuergeräte müssen Anforderungen hinsichtlich Funktionaler Sicherheit (ISO 26262) erfüllen
  - Kurzschlussfeste Auslegung des Radnabenmotors



**Resultierendes Giermoment bei asymmetrischer Drehmomentverteilung**

# ANWENDUNG

## Demonstratorfahrzeuge Frecc0 1.0 und Frecc0 2.0

### Frecc0 1.0

Auf Basis von Fraunhofer-Komponenten und prototypischer Zukaufteile, u.a.

- Zwei achsnaher Elektromotoren (Nennleistung je ca. 70 kW, Fa. Wittenstein)
- Zweigeteiltes Li-Ionen-Batteriesystem (37,6 kWh, 192 kW Nennleistung, Fa. Akasol)
- Zentrales Steuergerät (Fraunhofer ESK)
- Weitere Nebenaggregate (DCDC-Wandler, Innenraumheizung, Unterdruckpumpe usw.)

### Frecc0 2.0

Auf Basis innerhalb der FSEM entwickelten innovativen Fraunhofer-Komponenten, u.a.

- Zwei Radnabenmotoren mit integrierter Leistungselektronik (55 kW Nennleistung, 700 Nm Nenn-Drehmoment)
- Zentrales Steuergerät
- OnBoard-Ladegerät
- Crashesicheres Batteriesystem

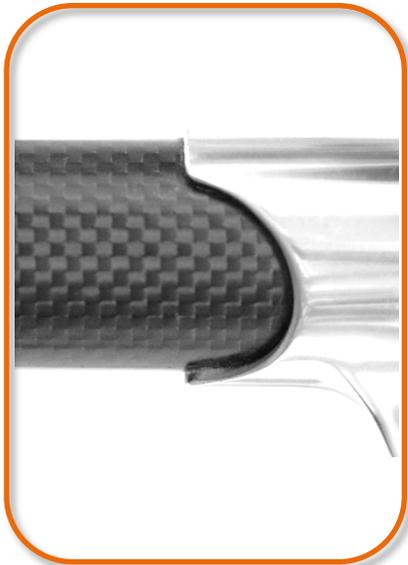


# Agenda

- Überblick Fraunhofer-Gesellschaft und Fraunhofer IFAM
- Elektrischer Antriebsstrang / Komponentenentwicklung
- **Gießereitechnologie**
- Unser Angebot

# Forschungsschwerpunkte der Gießereitechnologie

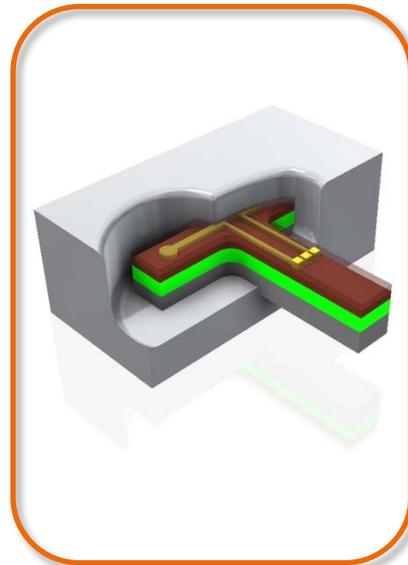
CFK-Aluminium  
Hybridguss



Integration von  
RFID zur  
Gussteilkennzeichnung

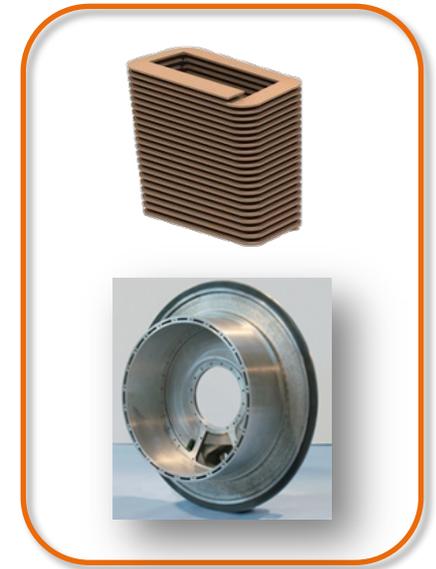


Integration von  
Sensorik zur  
Zustandsüberwachung



Prototypen  
und  
Funktionsmuster

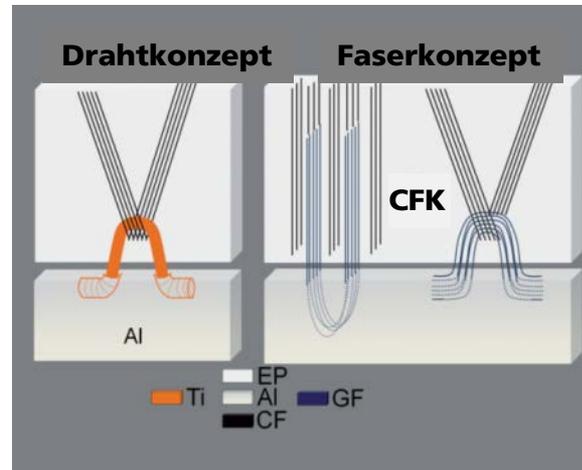
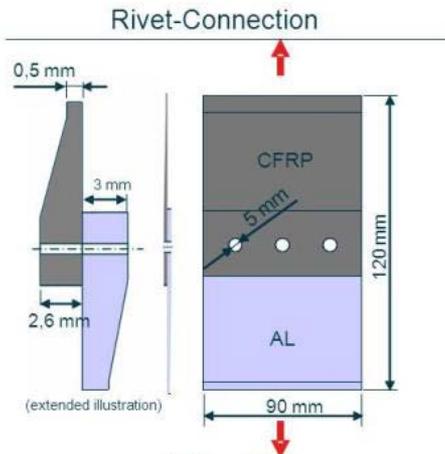
(u.a. für die  
Elektromobilität)



# CFK-Aluminium Hybridguss

## ■ Motivation und Ziel

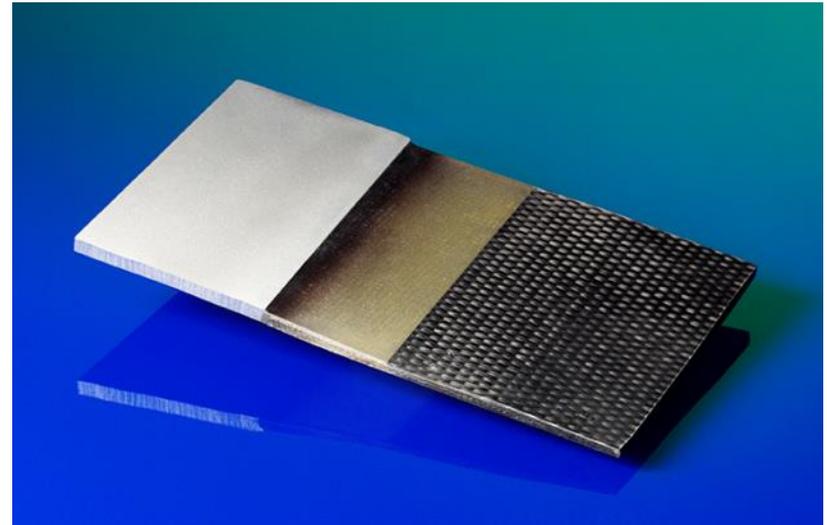
- Trend im Leichtbau in Richtung Multimaterialdesign
- Realisierung von integralen CFK-Aluminium Verbindungen unter Verwendung einer Übergangsstruktur



# CFK-Aluminium Hybridguss

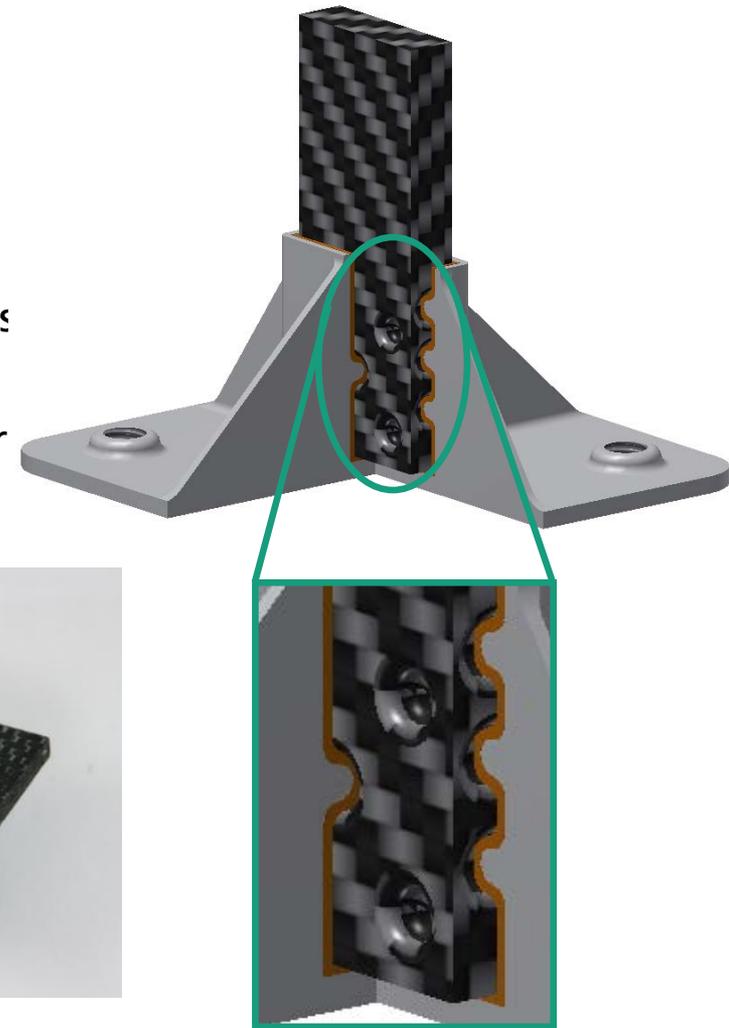
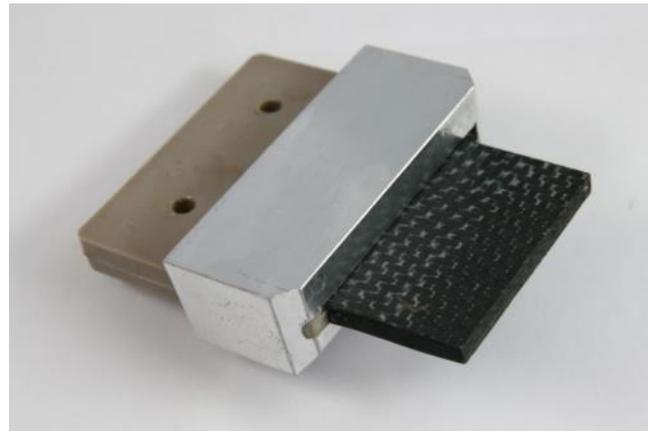
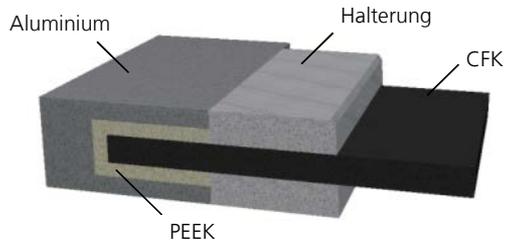
## ■ Vorteile

- Leicht, geringer Platzbedarf, keine Aufdickung im Fügebereich
- Resistent gegen Korrosion aufgrund elektrochemischer Entkopplung von Kohlenstoff und Aluminium
- Fasergerechtes Design



# CFK-Aluminium Hybridguss

- Neuer Verbindungsansatz:
  - Direktes Eingießen von Faserverbundbauteilen Aluminiumdruckguss
  - Schutzschicht aus temperaturbeständigem Kunststoff zur Vermeidung von Korrosion
  - Einbringen von Hinterschneidungen im CFK zur Erhöhung der mechanischen Festigkeiten



# Anwendung von RFID bei Gussbauteilen

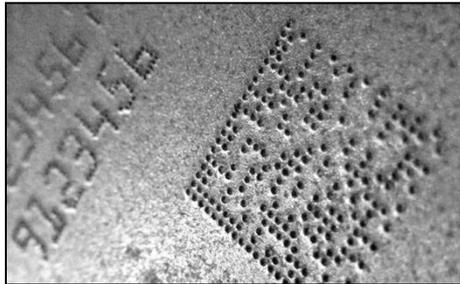
## Ausgangssituation

### ■ Typische Auto-ID Systeme

- Barcode
- Datamatrix Code
- Klartext



### ■ Verfahren zur Kennzeichnung von Gussteilen



Gravieren



Eingießen



Aufkleben

- Standardisierung im Automotive Bereich erfordern zukünftig eindeutige Identifikation von Bauteilen (VDA Empfehlung 5005, 5509, 5010)

# Anwendung von RFID bei Gussbauteilen

## Bauteilkennzeichnung & Identifikation

### ■ Individuelle Kennzeichnung von Druckgussbauteilen mit RFID

- Weltweit eindeutige Identifikationsnummer für jedes Exemplar
- unzerstörbare Integration
- Möglichkeit zur Speicherung beliebiger Daten
  - Herstellungsparameter
  - Wartungsinformationen
  - ...
- Plagiatschutz und Möglichkeiten zur Verschlüsselung



### ■ Ausblick: Integration von UHF-Transponder in Druckguss

- Neue UHF-Transponder ermöglichen den Einsatz von UHF in metallischer Umgebung
- Erste Vorversuche sind bereits Abgeschlossen.
- Einguss von RFID-Transpondern Stand der Technik am IFAM.

# Agenda

- Überblick Fraunhofer-Gesellschaft und Fraunhofer IFAM
- Elektrischer Antriebsstrang / Komponentenentwicklung
- Gießereitechnologie
- **Unser Angebot**

# Unser Angebot

## Gießereitechnologie

- Gießtechnische Umsetzung von Bauteilen
- Herstellung von Prototypen und Funktionsmustern (insb. mit Lost Foam und Feinguss)
- Machbarkeitsstudien für Gießverfahren
- Entwicklung von Gießverfahren und -prozessen
- Fehler- und Prozessanalysen
- Marktanalysen, -studien und Beratung
- Simulation
- Röntgenprüfung und CT
- Analytik

## Komponentenentwicklung

- Entwicklung von Fertigungsverfahren für elektrische Antriebssysteme, insbesondere zur gießtechnischen Herstellung von Spulen und Gehäusekomponenten
- Elektromagnetische Auslegung elektrischer Maschinen und Optimierung von Drehmoment, Wirkungsgrad und Bauraum
- Simulation des Systemverhaltens elektrischer Antriebe und Auslegung von Regelungskonzepten
- Entwicklung von Steuergeräten für elektrische Antriebe und Implementierung von Regelungsalgorithmen
- Prüfung elektrischer Antriebssysteme mit Bewertung des Betriebsverhaltens
- Integration und Erprobung von Antriebssystemen im Gesamtfahrzeug

# Kontakt



## **Felix Horch, Dipl.-Ing.**

Gruppenleiter Komponentenentwicklung  
Gießereitechnologie | Komponentenentwicklung

## **Jan Clausen, Dipl.-Ing.**

Projektleiter  
Gießereitechnologie | Komponentenentwicklung

## **Thomas Rahn, Dipl.-Wi.-Ing.**

Projektleiter  
Gießereitechnologie | Komponentenentwicklung

## **Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM**

Wiener Straße 12 | 28359 Bremen | Germany

[www.ifam.fraunhofer.de](http://www.ifam.fraunhofer.de)