

Turboverdichter für Brennstoffzellenantriebe

Chemnitz | 2022-07-05



Europa fördert Sachsen.
EFRE
Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung



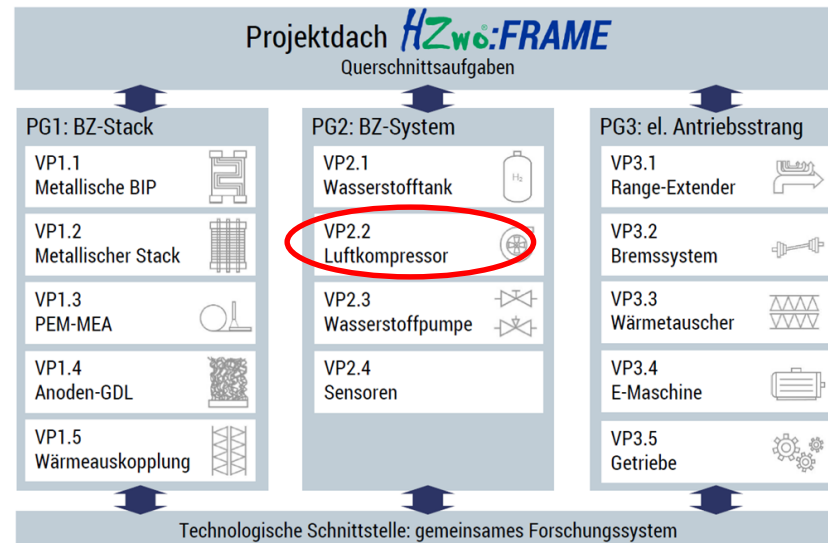
Agenda

- Projektvorstellung
- Verbundpartner - Zuständigkeiten
- Anforderungen, Systemvergleich und Konzept
- E-Antrieb
- Sensorik
- Leistungs- und Regelelektronik
- Mechanische Bauteile
- Verdichtereinheit
- Zusammenfassung - Ausblick

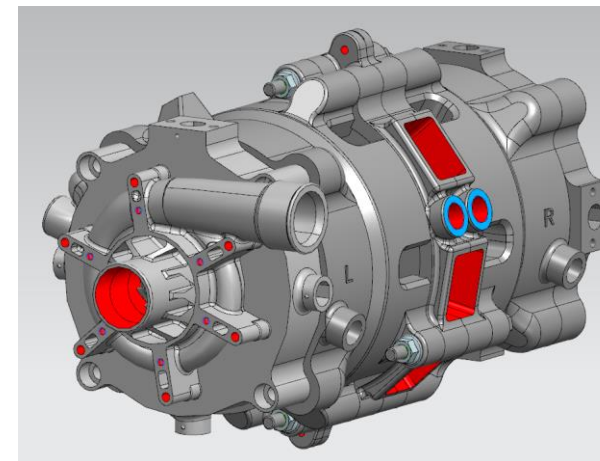
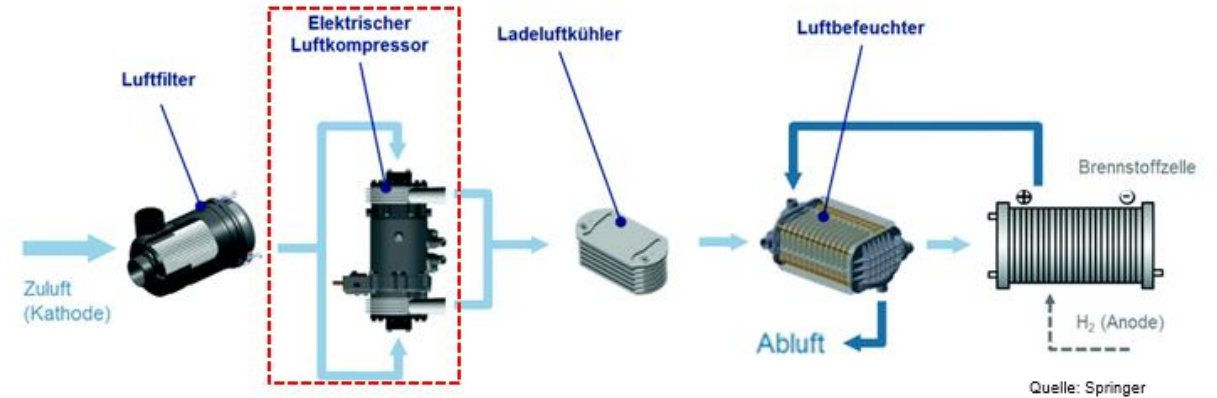
Verbundprojekt - Luftkompressor

Projekt: Magnetgelagerter Turboverdichter für mobile Brennstoffzellenantriebe

Ziel: Gemeinsame Entwicklung eines Forschungsfunktionsmusters für Machbarkeitsprüfungen und erste Optimierungen



Projektkosten: 2,25 Mio€ / Förderbetrag: 1,25 Mio€



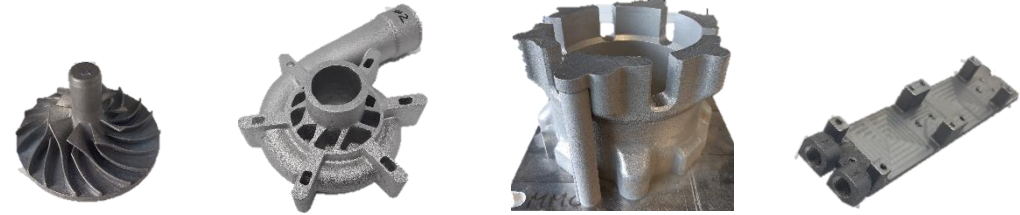
Geplantes Funktionsmuster

- 10kW
- 60g/s; 2,5bar
- 90.000 rpm
- 2stufig
- Wassergekühlt
- Laufrad Ø 64mm

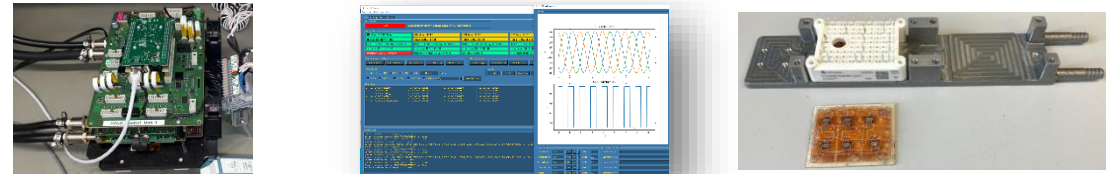
Verbundpartner - Zuständigkeiten



3D-Metalldruck hochfester
dünnwandiger Bauteile



Leistungs- und Regelungselektronik
Bedienoberfläche für Prüfstandsbetrieb



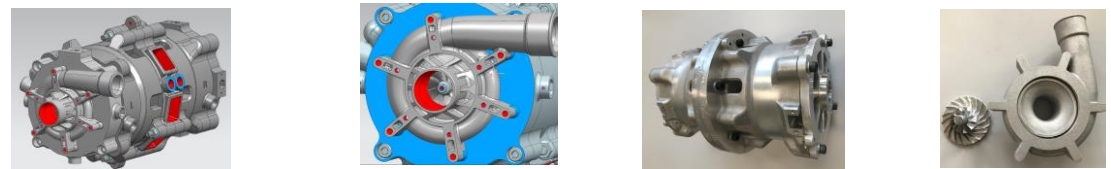
Lagerlose E-Maschine, Regelalgorithmus



Sensorik, Signalkonditionierung



Verdichtereinheit und Gesamtmaschine
Verbundkoordinator



Anforderungen - Systemvergleich - Konzept

Grundlegende Anforderungen

Schmierölfreie, saubere Luft

Lebensdauer >25.000 Bh; Wartungsfrei

>200.000 Start/Stop-Zyklen

Geringe Leistungsaufnahme

Schnelles Ansprechverhalten

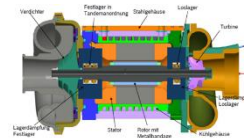
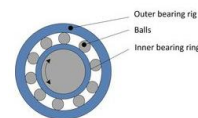
Geringe Herstell- und Montagekosten

Skalierbares Baukastenprinzip

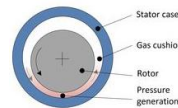
Erweiterte Anwendungsgebiete

Systemvergleich Wellenlagerung

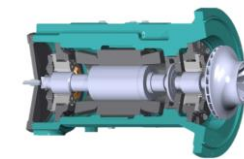
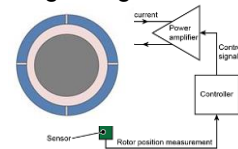
Wälzlager



Luftlager/Luftfolienlager



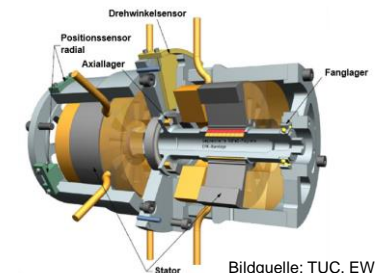
Magnetlager



Bildquellen: WWW

Konzept erstes Funktionsmuster

Wellenlagerung im E-Motor durch überlagert angeordnete Dreh- und Tragfeldwicklung

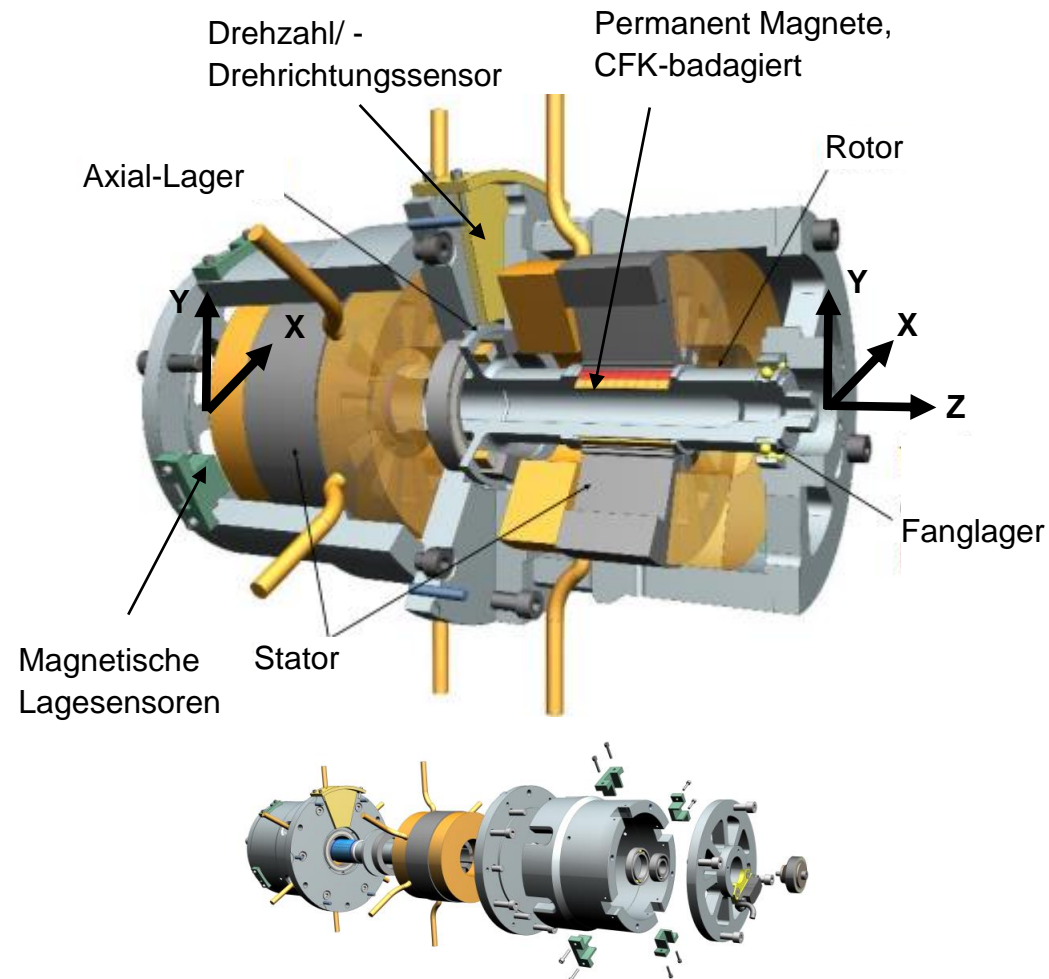


Bildquelle: TUC, EWA

Sensorik zur Lageerfassung der Welle

Leistungs- und Regelelektronik für Dreh- und Tragfeldbestromung

Lagerlose permanent-magnet-erregte Synchronmaschine



Bildquellen: TUC, EWA

Umsetzungsmöglichkeiten

Schmierölfreie, saubere Luft

Quasi verschleißfrei, axial und radial

Quasi beliebige Anzahl Start/Stopp-Zyklen

Wartungsfrei, Lebensdauer >25.000 Bh erwartbar

Schnelles Ansprechverhalten

Geringe Präzisionsanforderungen, Geringe Handhabungskosten

Herausforderungen

Sensorik, Lageregelung, Regelgeschwindigkeit, EMV

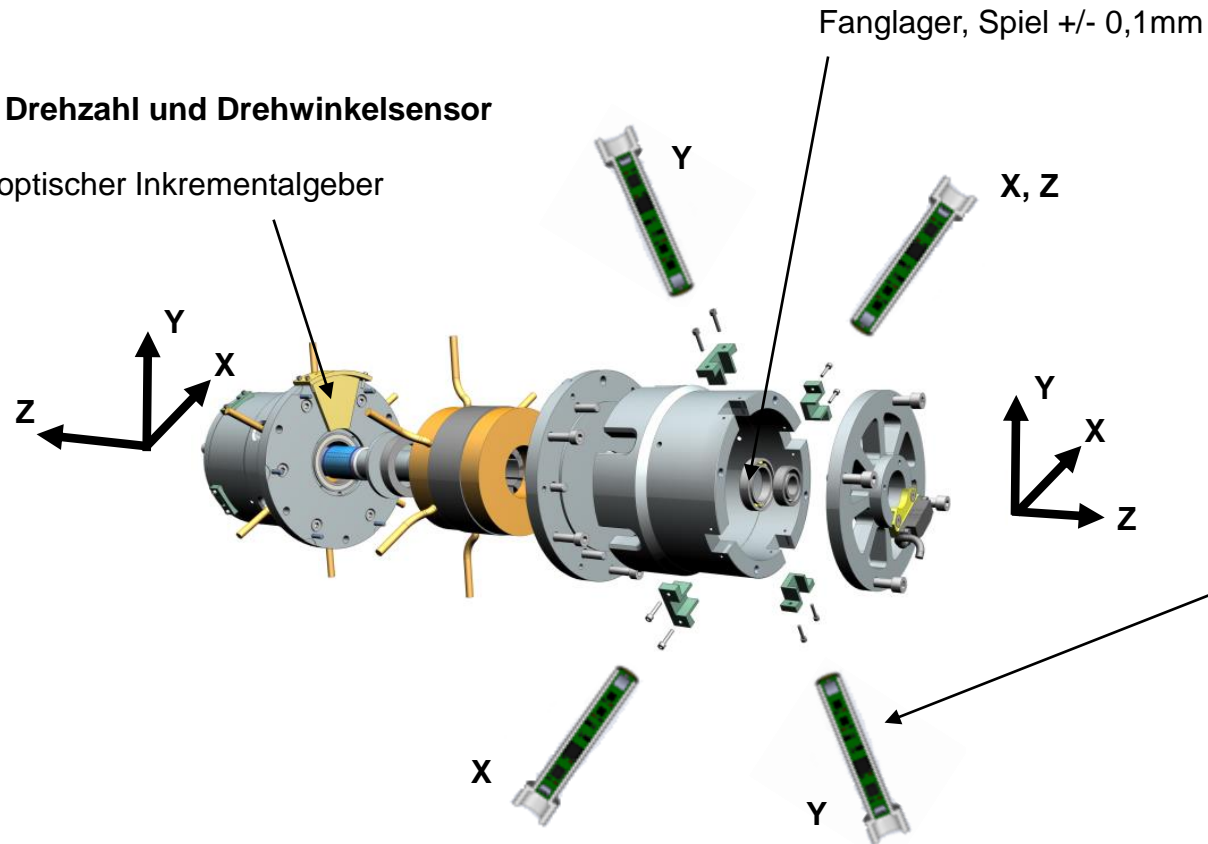
Vibrationen, Stoßbelastungen

Herstellkosten, Baugröße

Sensoranordnung zur Erprobung

1x Drehzahl und Drehwinkelsensor

- optischer Inkrementalgeber



Ausreichende Regelstabilität

- 15µs Regeltakt, Auslesen der Sensordaten
- 16 Bit Genauigkeit des Sensors



Einheits-Magnetsensoren, mit Signalkonditionierung

- Lagesensoren Welle-links; Welle-rechts jeweils x, y, z
- Jeder Sensorkopf beinhaltet Axial- und Radialsensor x, y, z
- Hohe Genauigkeit durch Differenzsignalbildung
 - Erhöhte Robustheit gegenüber magnetischer Störfelder
 - Doppelte Signalstärke
- Digitalisierung des Messsignals im Sensor

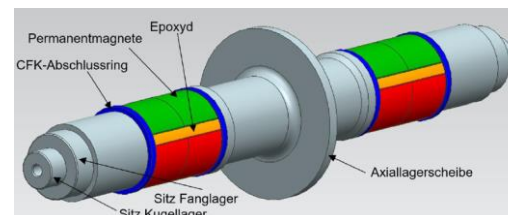
E-Antrieb

Lagerlose permanent-magnet-erregte Synchronmaschine



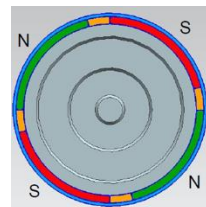
Rotor

- 4-poles with surface mounted permanent magnets
- rotor sleeve made of carbon fiber
- maximum radius is limited by centrifugal forces
- maximum length is limited by natural bending frequencies



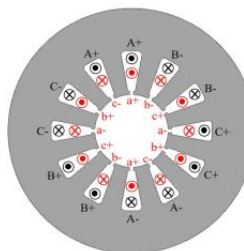
Permanent magnets

- for high utilization of suspension force thin magnets are used (1.5mm)
- thin magnets lead to higher risk of demagnetization
- NdFeB 33 of temperature class EH (200°C) (Neodym)



Stator

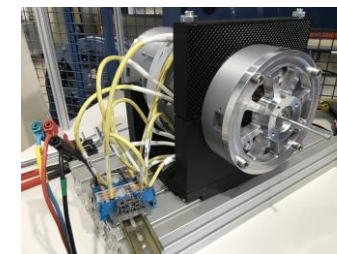
- two separate three phase windings
- 2-pole suspension winding (11 turns per slot)
- 4-pole drive winding (5 turns per slot)
- stator frequencies up to 3.3 kHz
- NO20 lamination to keep the core losses low



Bildquellen: TUC, EWA

Prototypenaufbau

Gedrucktes Kunststoffgehäuse



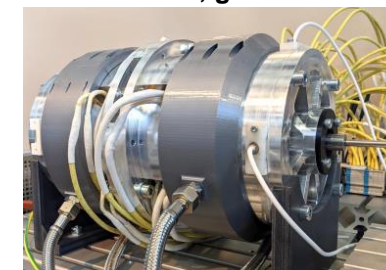
- Check Rotor / Magnete
- Messung induzierte Gegenspannung

Alu-Gehäuse, ungekühlt



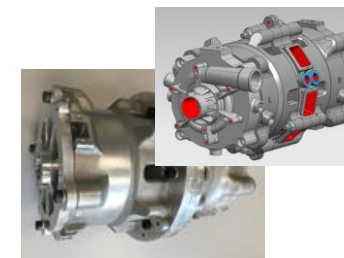
- Erstes Schweben und Drehen der Welle
- Parametrierung, Abgleich Simulation
- Feldorientierte Stromregelung, Drehzahlregelung

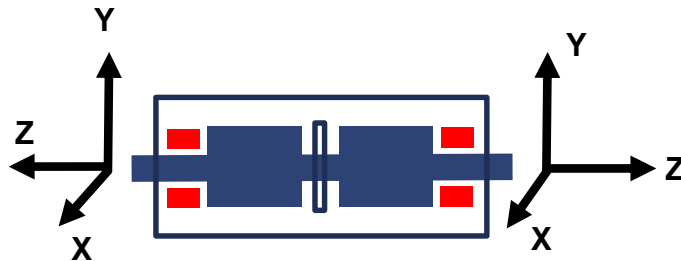
Alu-Gehäuse, gekühlt



- Radiale/Axiale Lageregelung

Geplante Prototypen



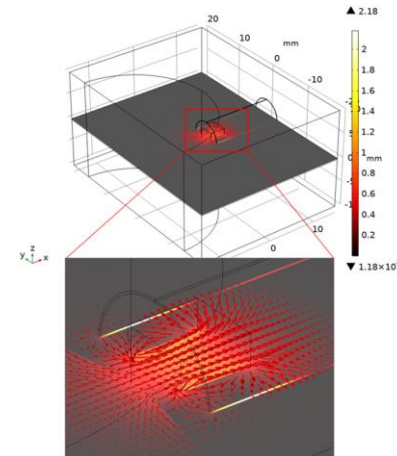


- Positionserfassung der Verdichterwelle mittels TMR Magnetfeldsensoren Tunnel Magneto-Resistance
 - x, y, z jeweils pro Seite
- Magnetsensoren nicht kalibriert, industriell, preiswert
- Messkettenkalibrierung (teachen) der Wellenlage-Regelung auf End of line Prüfstand (EoL) vorgesehen

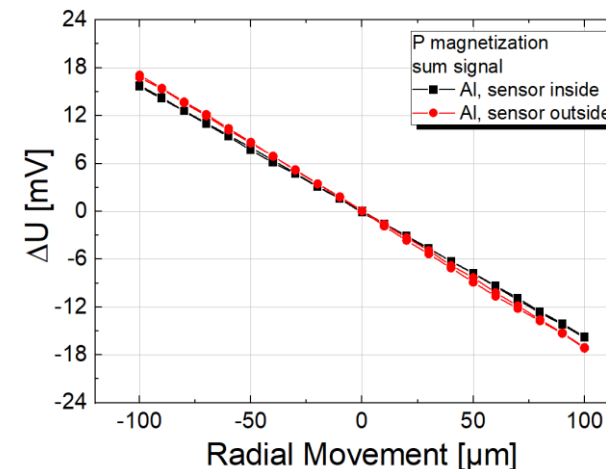
Vorteile GMR/TMR

- Hochsensitiv (Faktor 1000 zu Hall-Prinzip)
- Geringer Stromverbrauch (0,001-0,01mA)
- Hochdynamische Messdatenerfassung (MHz-Bereich)
- Thermisch stabil bis 200°C
- Miniaturisierbar, skalierbar

Magnetfeldsimulation im Anwendungsfall Radialsensor



Lineares Sensor-Rohsignal (keine Hysterese o.ä. Störeinflüsse)



Prototyp



Ausbaustufe, integrierte Signalkonditionierung

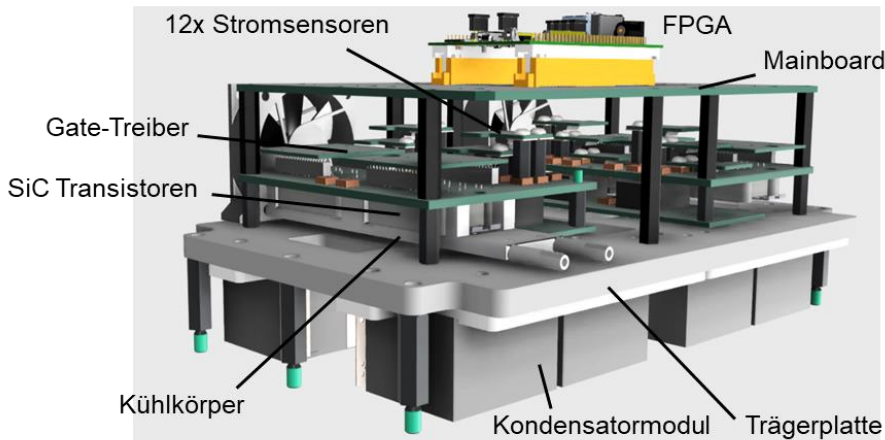


Bildquellen: Fh-ENAS

Leistungs- und Regelelektronik

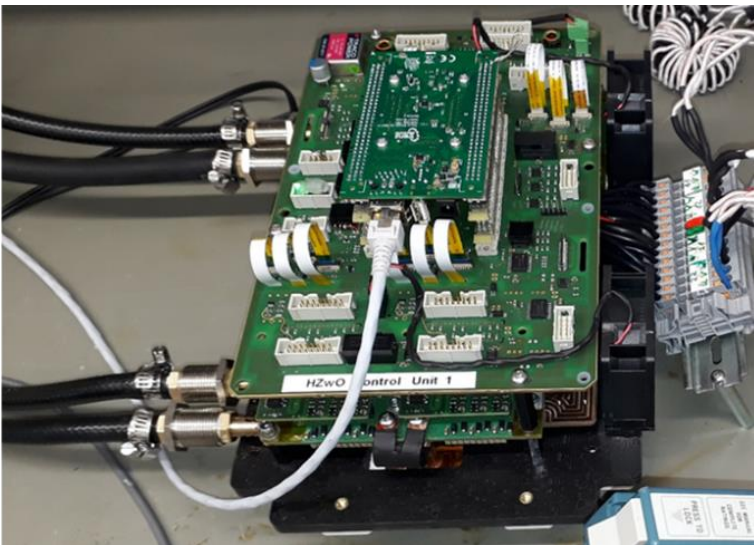
Wesentliche Herausforderungen:

- Hohe Anforderung an Regelgeschwindigkeit
 - Regelung der Achsposition bei 90.000 rpm
 - Ausgleich Stoßbelastungen bis 10 g
- Große Ströme und hohe Abwärme → aufwendiges Kühlkonzept
- EMV Störaussendung und -einkopplung im direkten Umfeld der Wicklungen und Stellströme
- Lieferprobleme von Bauelementen der Leistungselektronik



Technische Daten:

Elektrische Parameter	Externe Spannungsversorgung	3 x Netzspannung, entspricht ca. 560 V
	Zwischenkreisspannung	560 V
	Max. Phasenstrom (dauerhaft)	25 A, 40 A Peak
	Max. elektrische Leistung	4 x 5 kW
Leistungselektronik	Aufbau	Modular, Leistungsschalter, Gate-Treiber, Kondensator-Module
	Tragmotoren	2 Stück (4-polig)
	Drehmotoren	2 Stück (2-polig)
	Z-Achsensteuerung	geregelt
	Max. Drehzahl	90.000 rpm
	Transistor Technologie	Silizium Carbide in 4 Modulen à 3 Halbbrücken
Sensorschnittstellen	Grenzfrequenz (-3dB)	500 kHz (max. 1,5 MHz)
	Stromsensoren	12 Stück, +/- 50 A, modular
	Drehwinkel/Geschwindigkeit	Optisch, 3 Kanäle
	Lagesensoren (x, y, z)	Magnetisch, 5 Stück
Regelungselektronik	Controller Plattform	Xilinx FPGA mit ARM Co-Prozessor Modul auf Mainboard
Maße	Abmessungen Elektronik (B/H/T)	250 x 160 x 164 mm³
	Abmessungen Gehäuse (B/H/T)	330 x 230 x 181 mm³
Temperatur und Kühlung	Betriebstemperatur	Raumtemperatur, Leistungselektronik bis 125°C
	Kühlung	Flüssigkeitsgekühlte Leistungselektronik, Luftkühlung für Regelungselektronik



Bildquellen: EDC

Mechanische Bauteile

AM METALS

HZw^o:FRAME

Aufgaben

- Untersuchung an Probekörpern aus neuen, hochfesten AM Werkstoffen
- Zuordnung geeigneter Werkstoffe zu den Applikationen
- Fertigungsgerechte Gestaltung der Bauteile für den 3D Druck
- Fertigung der Prototypen für den Prüfstand

Material: EOS Al 2139 AM
Re 300MPa; Bruchdehnung 6%



Stand

- Abschluss der Materialauswahl: Zugversuche, Metallografische Schliffanalyse, HCF Untersuchungen, Wasserstoffanalyse
- 3D Druck Prozess Optimierung zur Steigerung der Baurate
- Reproduzierbarkeit und Skalierbarkeit in der Pulverherstellung nachgewiesen
- Verzugsminimierung mittels Software Amphyon
- Funktionsprototypen für Prüfstand wurden gefertigt
- Aufnahme der neuen Werkstoffe ins Produktportfolio bei EOS / AMM

Material: AlFe-HT300;
Hochtemperatur-Aluminium;
Re 280MPa; Bruchdehnung 7%



Vergleich
Warmfestigkeit +
Alterungsbeständigkeit

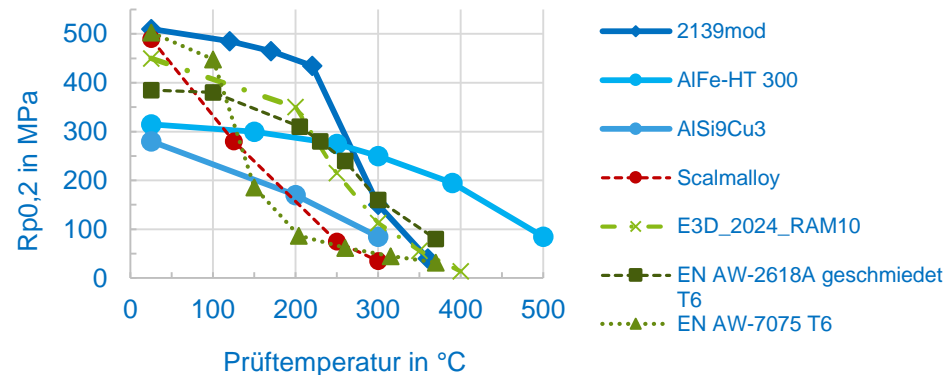
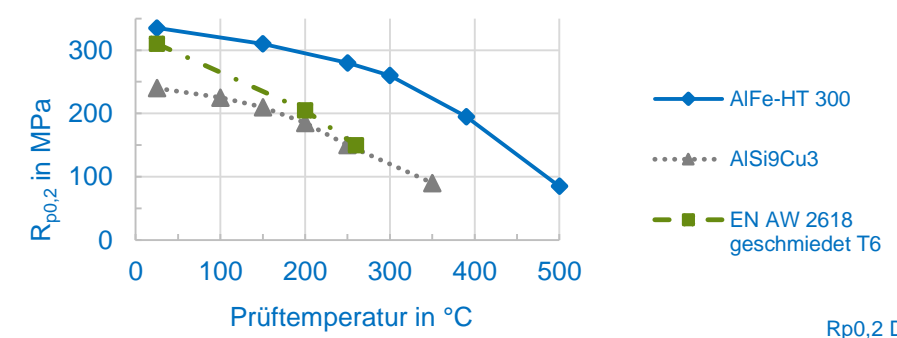


Diagramme: AMM



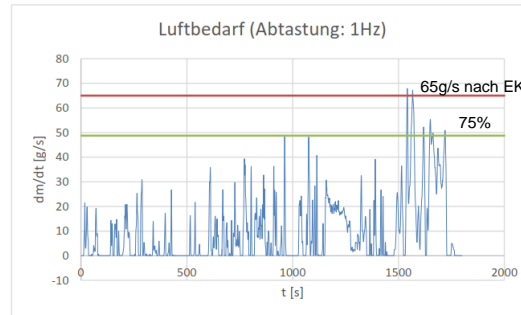
Rp0,2 Dehngrenze

Verdichtereinheit

VOITH

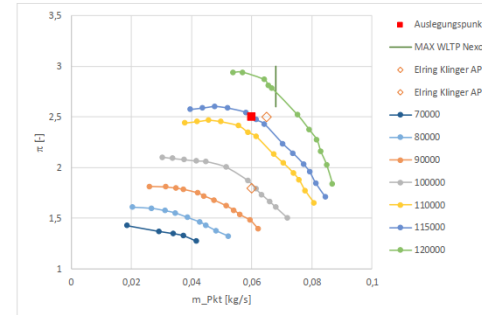
HZwo:FRAME

Luftbedarf aus PkW WLTP-Zyklus



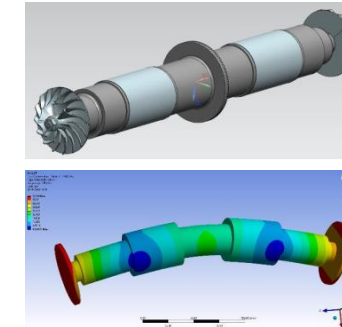
Entscheidung 60g/s; Peak-Abdeckung über Drehzahl;
2,5 bar Druckverlustcharakteristik bekannter Stacks

Verdichterkennfeld 2stufig



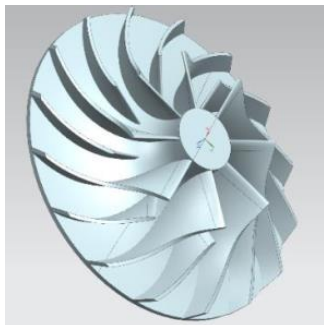
Festlegung Drehzahl 90.000rpm; 1.biegekritische Drehzahl 105.000rpm;
Festlegung Laufrad Ø 64mm

Wellendesign und
biegekritische Drehzahl

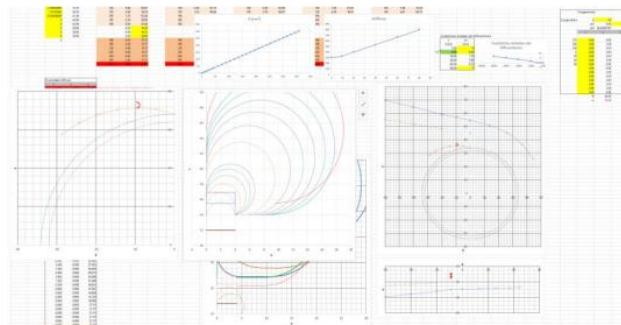


Verdichterwelle

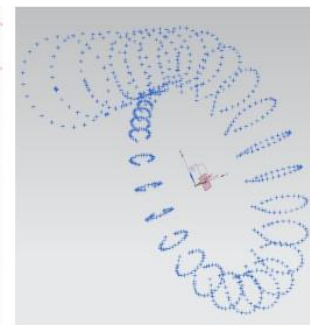
Laufraddesign Vista ccd



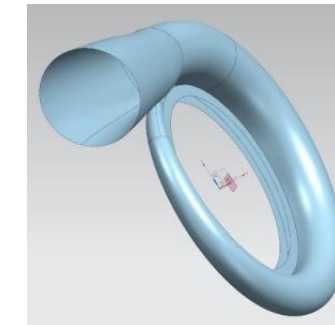
Spiralgehäusedesign xls-basiert



Laufräder (1.+2.Stufe) ohne Deckscheibe mit acht Hauptschaufeln und acht verkürzten Zwischenschaufeln; Laufrad 2.Stufe andere Schaufelaustrittswinkel



Asymmetrischer Spiralquerschnitt; Export von Punkten zum Aufbau 3D CAD Modell



Prototypen im 3D Metalldruck

Zusammenfassung - Ausblick

- Erfolgreiche Abschlüsse der Teilprojekte
- Einige Schnittstellen noch nicht optimiert
- Übernahme der Ergebnisse aus Teilprojekten
- Aufbau Gesamttaggregat

Vielen Dank an:

- EFRE
- SMWA
- SAB
- Verbundpartner