

AIT Austrian Institute of Technology

Light Metals Technologies Ranshofen

LKR Leichtmetallkompetenzzentrum Ranshofen GmbH

Mobility Department

Leichtmetallentwicklungen für hybride Leichtbaulösungen

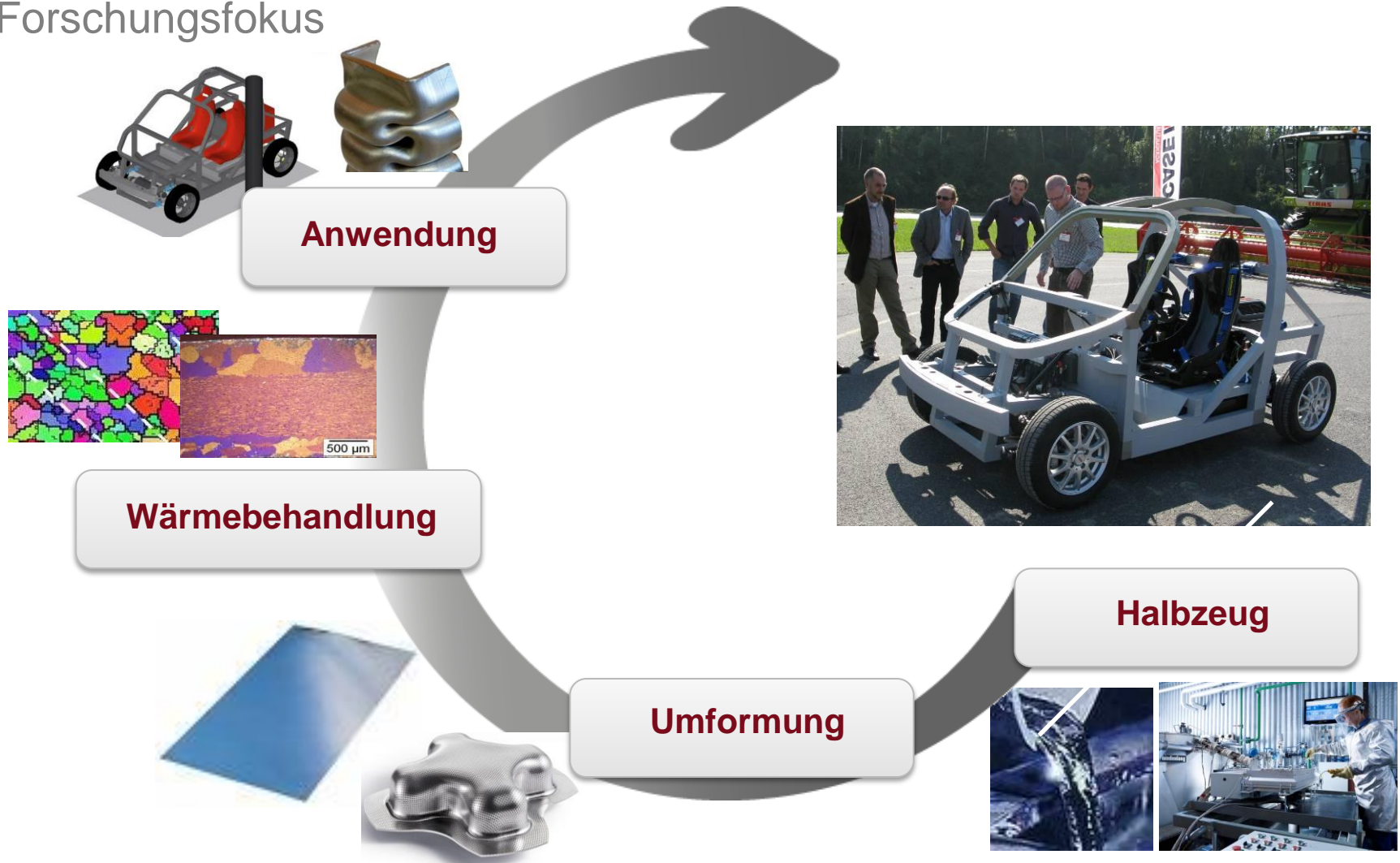
Fill-Academy, 5. November 2012, Gurten

Dr. Christian M. Chimani

Geschäftsführer LKR

LKR Leichtmetallkompetenzzentrum Ranshofen GmbH

Forschungsfokus



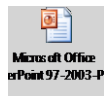
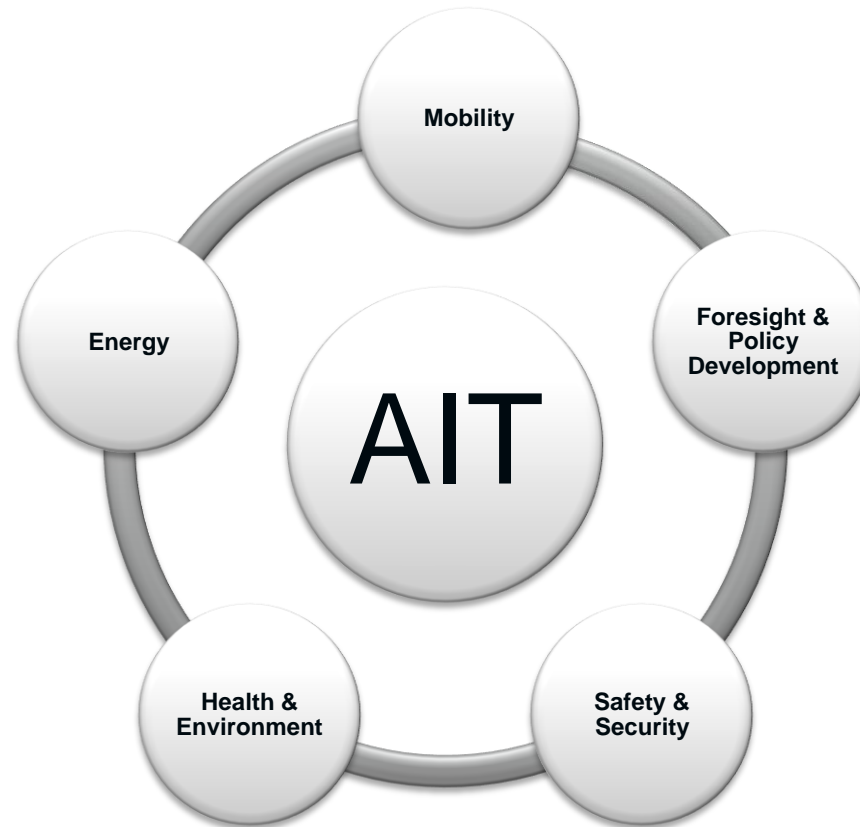
Allgemeine Firmendaten

- LKR
 - Anzahl der Mitarbeiter: ca. 40
 - Ort: Ranshofen
 - Betriebsleistung: ca. 6 Mio. €
 - 100% Tochter des AIT
 - Außeruniversitäre Forschungseinrichtung

- Zertifizierungen
 - ISO 9001:2008
 - Ö NORM, EN ISO/IEC 17025



Positionierung der AIT (Austrian Institute of Technology)



Mobility Department Research & Development in the fields of...

**Transportation
System**



**Transportation
Infrastructure**



Vehicle



→ **EFFICIENT**

→ **SAFE**

→ **GREEN**

Efficient – Safe - Green

- **Hochleistungs-
werkstoffe (High
Performance
Materials)**

- **Hybride
Komponenten**
- **Funktions-
oberflächen**

- **Nachhaltige
Produktions-
verfahren**

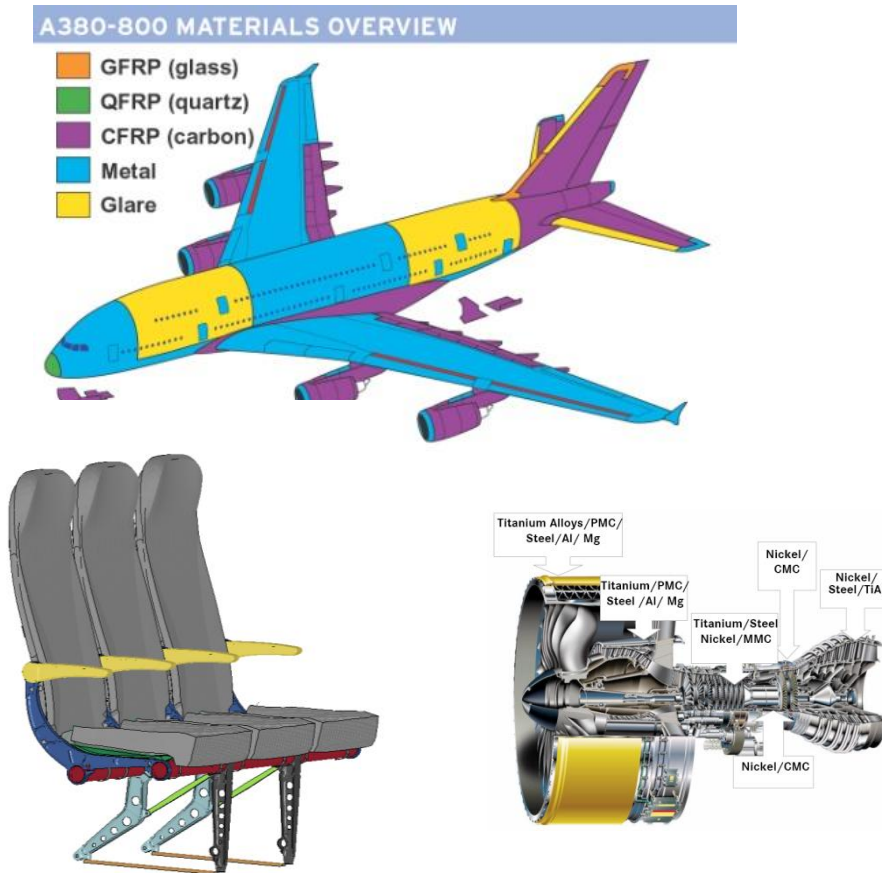
 **Materialentwicklung**

 **Prozessentwicklung und -optimierung**

 **Materialbasiertes Design**

Anhaltender Trend zu Materialmix im Transportwesen

Beispiele von Werkstoff-Mischbauweisen aus verschiedenen Branchen



Bildquellen: Boeing, Flight International, MTU, RECARO

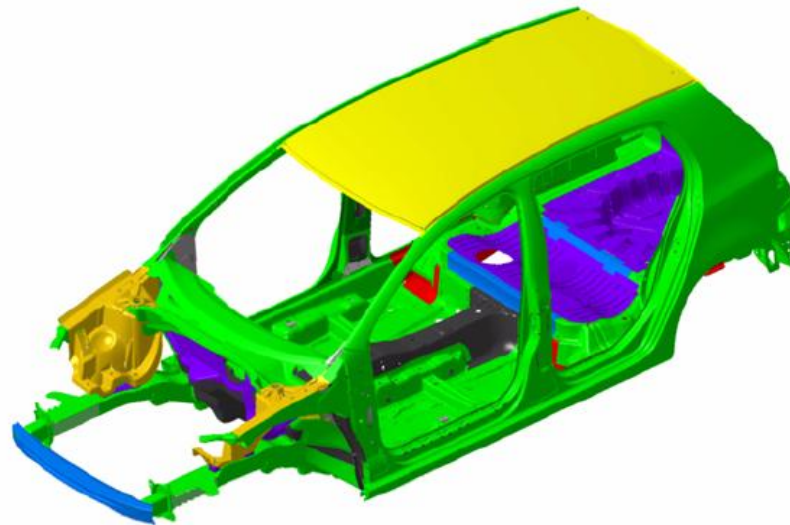
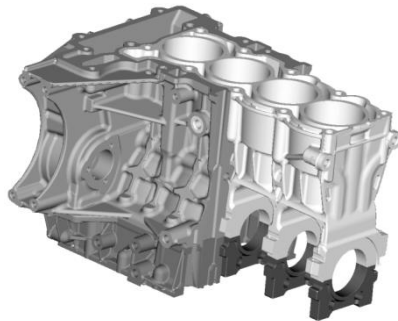
Anhaltender Trend zu Materialmix im Transportwesen

Beispiele von Werkstoff-Mischbauweisen aus verschiedenen Branchen

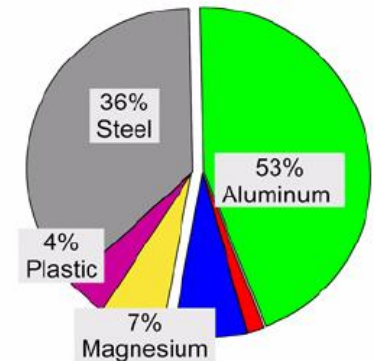
Bildquellen: Audi, BMW, VW



Abbildung 1: Karosseriestruktur des neuen Audi A8 in Aluminium-S (ASF) Bauweise mit B-Säule aus warmumgeformten Stahl (Gewicht: Aluminium Druckguss: blau - Aluminium Stanzprofil: grün - Alu-



- Aluminium sheet
- Aluminium cast
- Aluminium extrusion
- Steel
- Magnesium
- Fibre reinforced plastic



SLC BIW: weight 180kg (-35%, Δm -101kg)

Steyrer 1050

- Crashgerechte Auslegung von Fahrzeugstrukturen
- Optimierung von stark beanspruchten Teilen – Energieabsorptionselemente
- Aufprallfälle nach Euro NCAP-Normen
- Simulation mit LS-Dyna



Financing



Involved partners

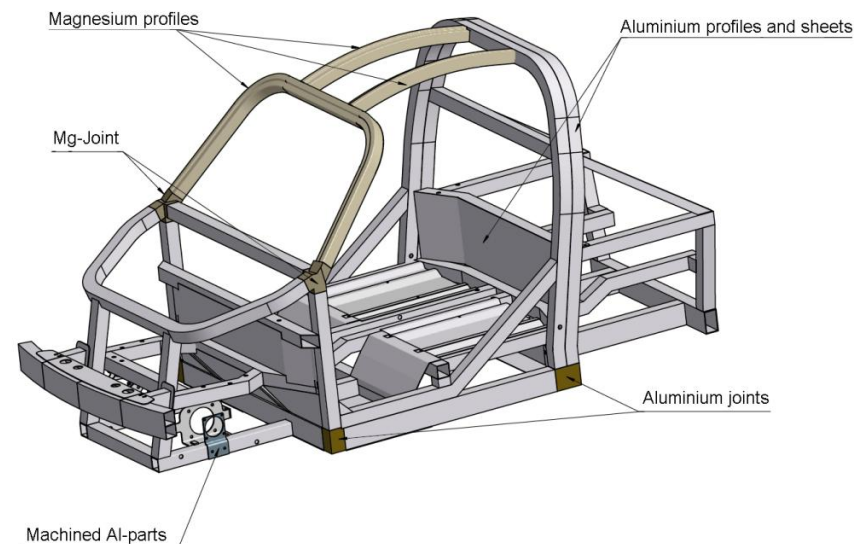


Vehicle Design I

- Aim to build a L7e vehicle
- Build up from
 - Standard aluminium profiles (6060 T6)
 - Extruded magnesium profiles (AZ 31)
 - Casted aluminium joints (AlSi 7)
 - Casted magnesium joints (AZ31)
 - Aluminium sheet metal
 - Machined aluminium parts

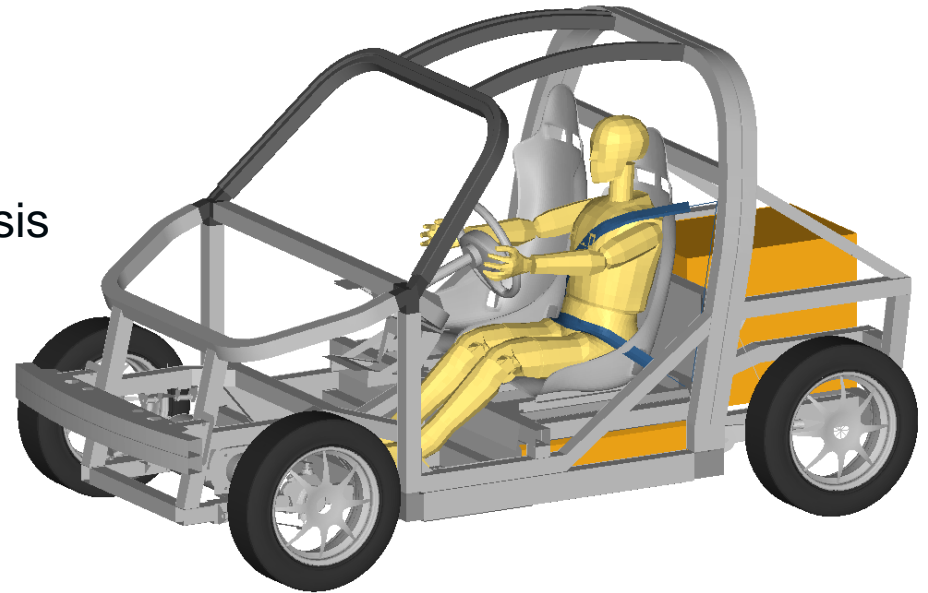
EU-Regulation for L7e vehicles:

- Four-wheeled vehicle, with an unloded mass of max. 400kg
- Not included are the mass of the battery and the range extender
- The maximum engine power must not exceed 15kW.



Vehicle Design II

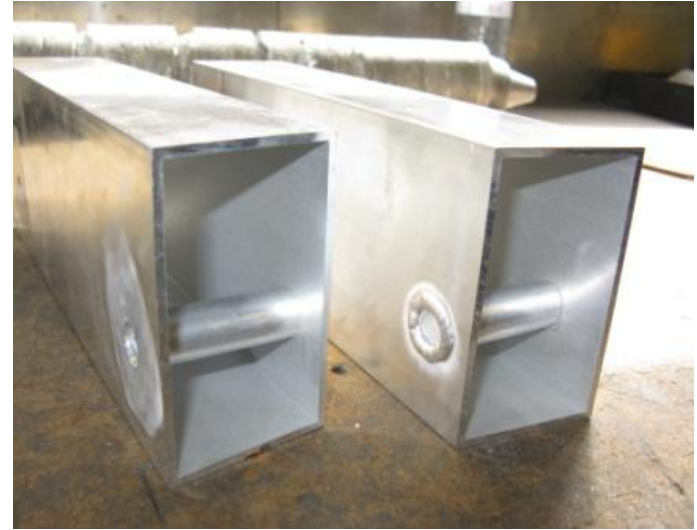
- Mass distribution
 - Mass space frame
130 kg
 - Overall mass for running chassis
570 kg
 - Simulated mass: 800 kg



Component	Battery, range extender	Frame, Seats, Steering, Wheels	Engine, Gearbox	El. Parts, Cables, Bolts etc.
Mass	210 kg	238 kg	47 kg	Ca. 75 kg

Vehicle Design – Details I

- Distance bushing
 - For joining higher loaded parts, e.g.
 - Suspension
 - Seat belt anchor
 - Pre-drilled holes
 - Bushing welded into the holes
 - Grinding of the welding seam

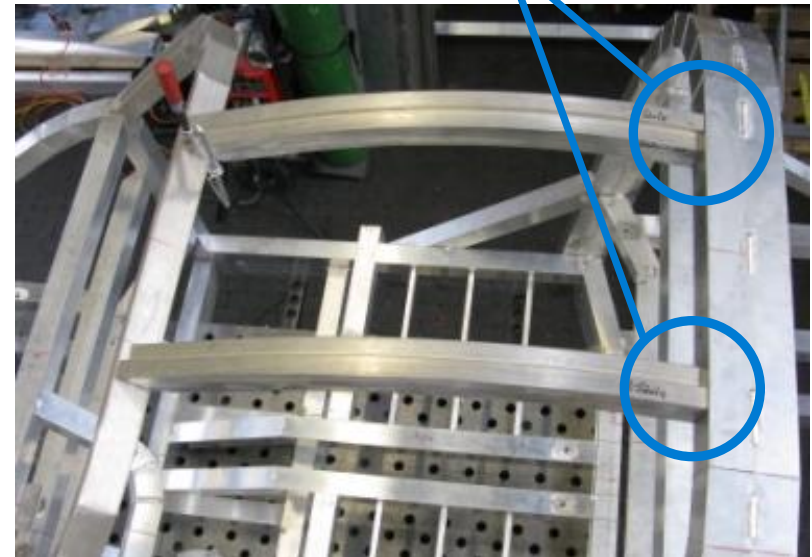


Vehicle Design – Details II

- Connection of Al and Mg parts
 - No welding procedure to secure stability
 - Combination of baseplate welded to B-pillar and glue
- Roll forming of Mg roof beams

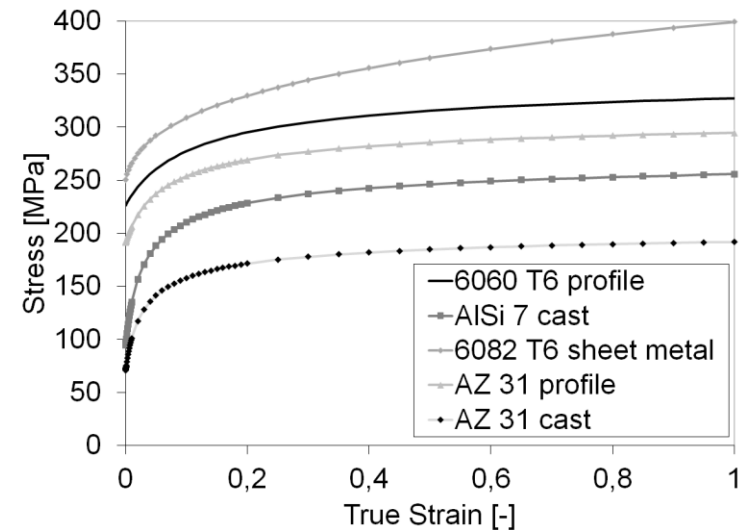
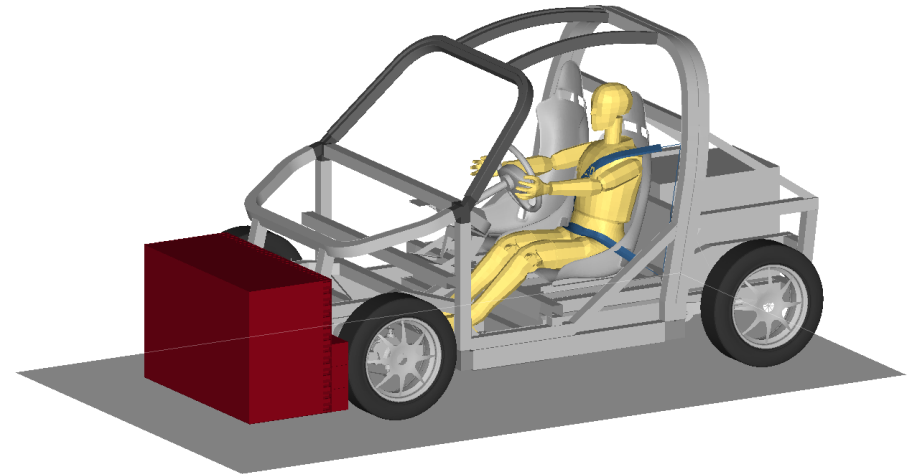


**Connection
Aluminium to
Magnesium**



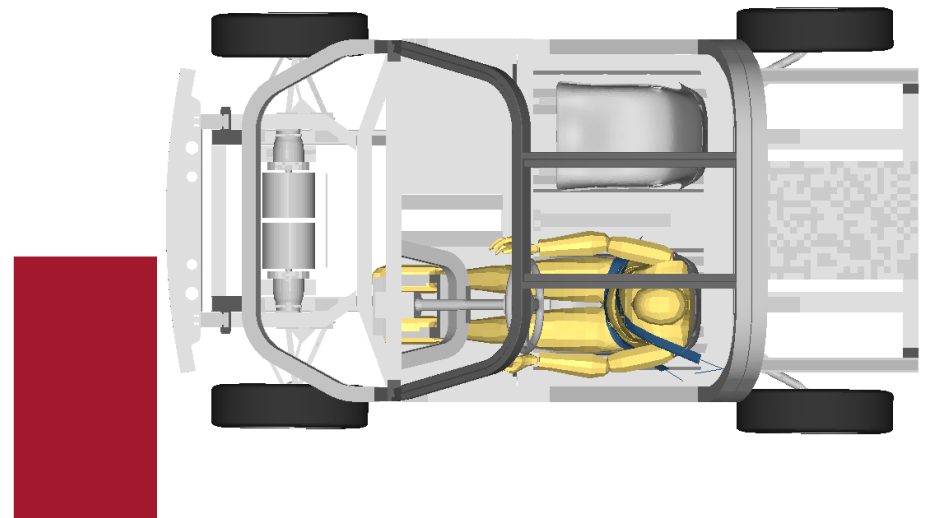
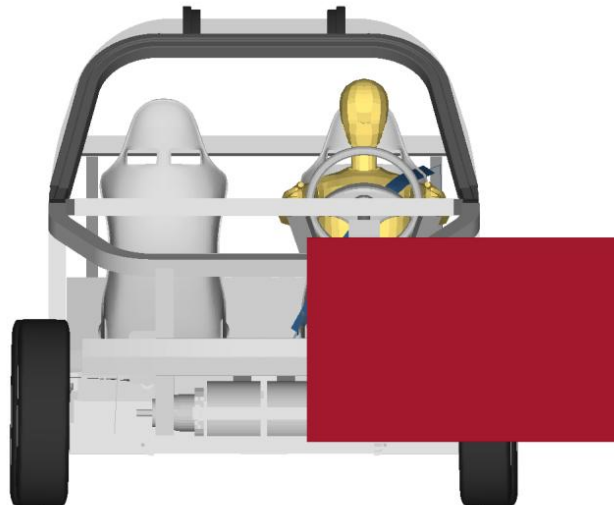
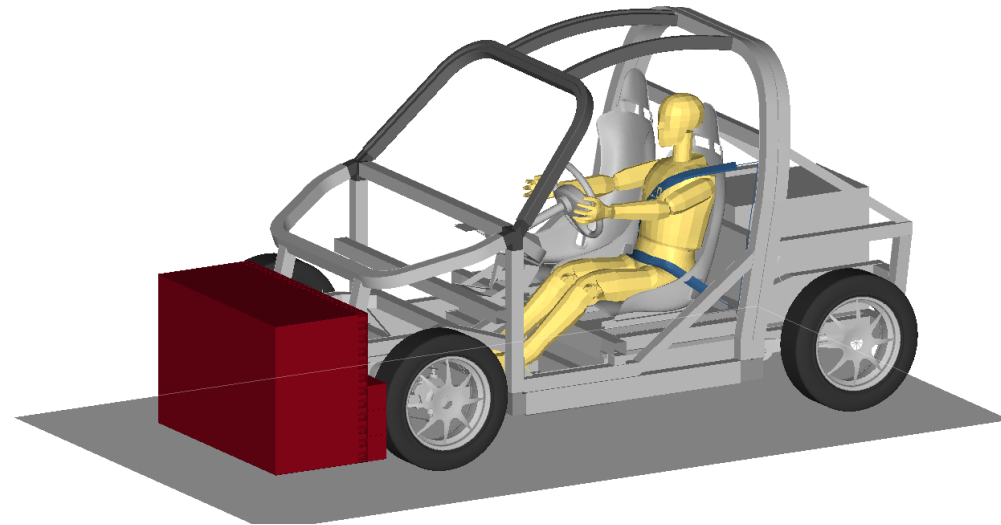
FE Model I

- General Modelling LS-Dyna
 - 1.159.539 nodes
 - 1.075.638 shell elements
 - 108.393 solid elements
 - 142 contacts
 - Material model
 - Elasto plastic behavior
 - Linear piecewise plasticity



FE Simulation I

- Boundary conditions
 - Euro NCAP frontal collision
 - 64km/h
 - 40% Offset



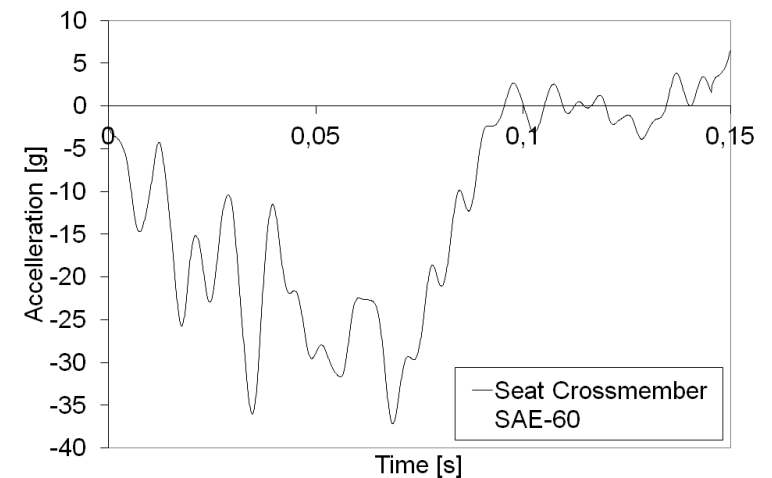
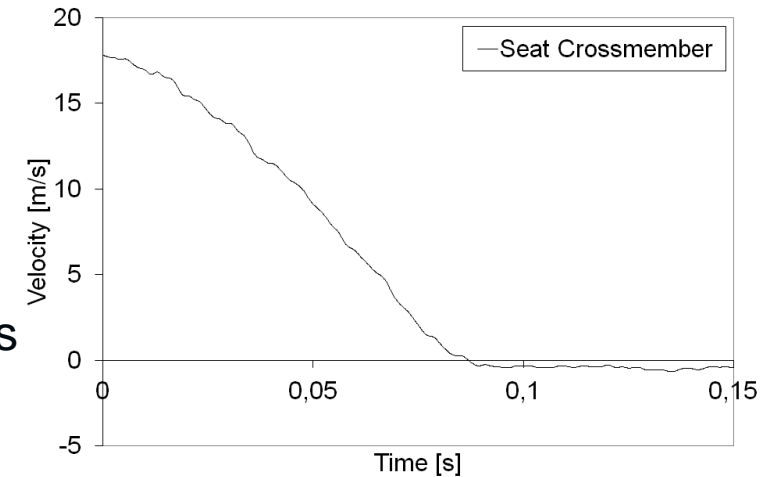
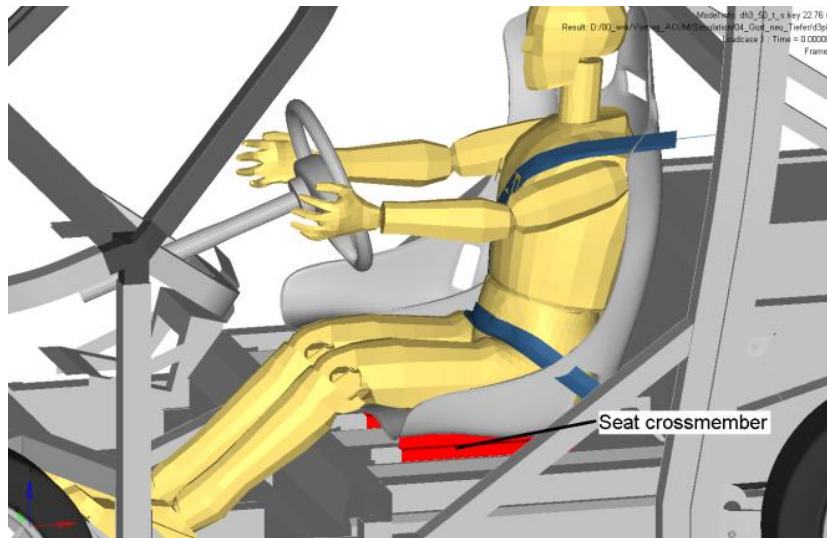
FE Simulation II

- Results - Structural deformation
 - During whole simulation no exterior penetration of cabin
 - Structural deformation only during first three steps (75ms)
 - After ca. 75ms vehicle turns around barrier
 - Safety potential left



FE Simulation III

- Results - Seat cross member
 - Max. deceleration 35 - 40g
 - Returns to zero after ~95ms
 - Linear decline to zero
 - Negative velocity (rebound) after ~90ms



Steyrer 1050 - Project Summary

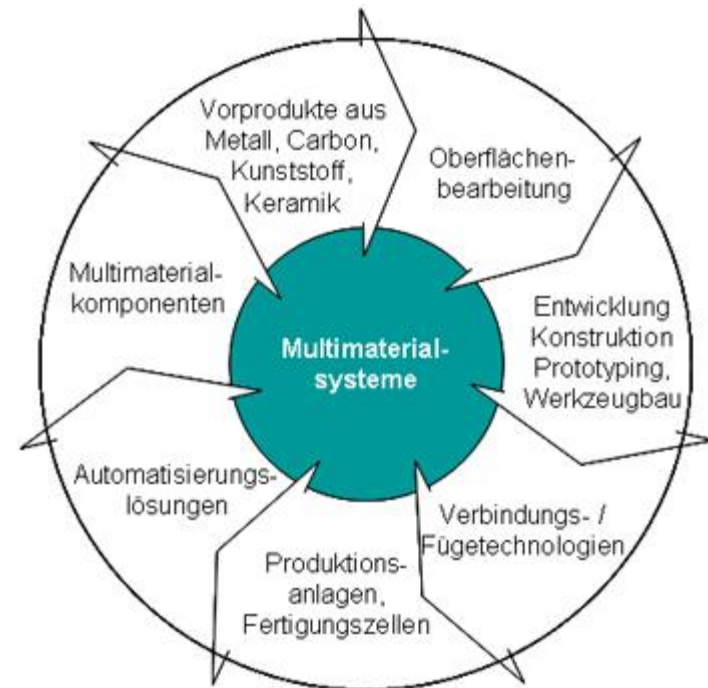
- L7e vehicle designed for Euro NCAP scenario
- Realization as running chassis mostly build up from standard profiles
- Cabin withstands load of frontal impact with 64km/h
- Acceleration within the limits for good crashworthiness
- Basic characteristics:
 - Weight: 570 kg (360 kg without battery and range extender)
 - Maximum distance: 50 km
 - Acceleration: 0 to 60 km/h in less than 5s
- Weight optimisation possible by using more different profile cross sections
- Implement more functions to casted joints



Innovative Fügeverfahren für Multimaterialsysteme

Beispiele innovativer Fügeverfahren für Leichtmetalle im Materialmix mittels:

- Ko-Extrusion
- Walzplattieren
- Stanznieten
- Blindnieten
- Punktschweißen
- Infiltration
- Flamm-spritzen
- Hybridguss
- IGEL-Technologie (pins)

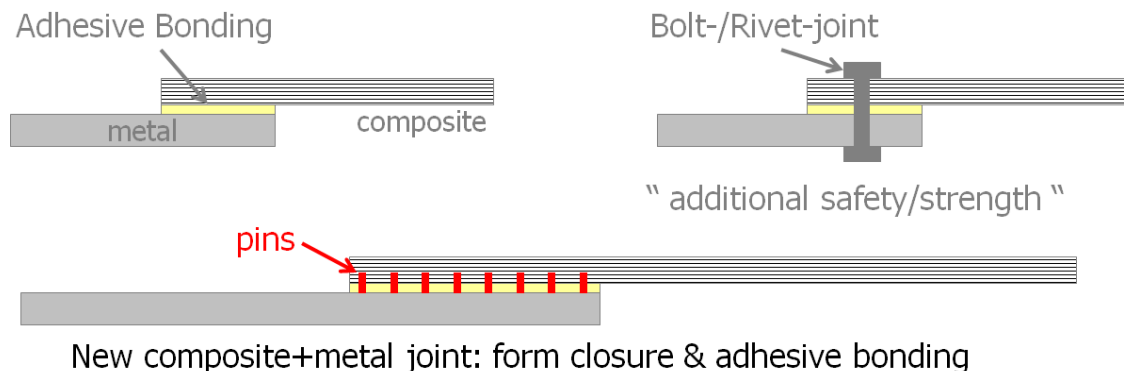
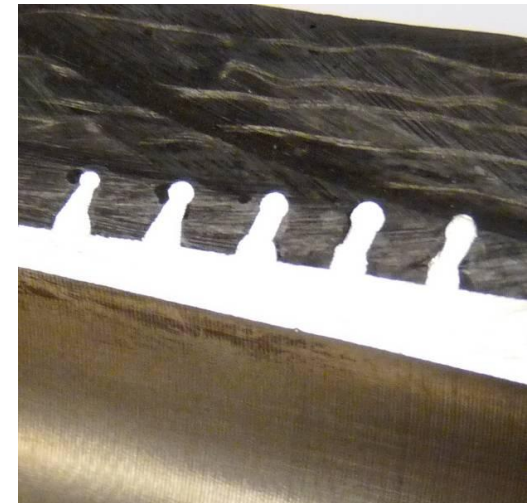


Metall-Faserverbund-Fügetechnik („IGEL-Technologie“)

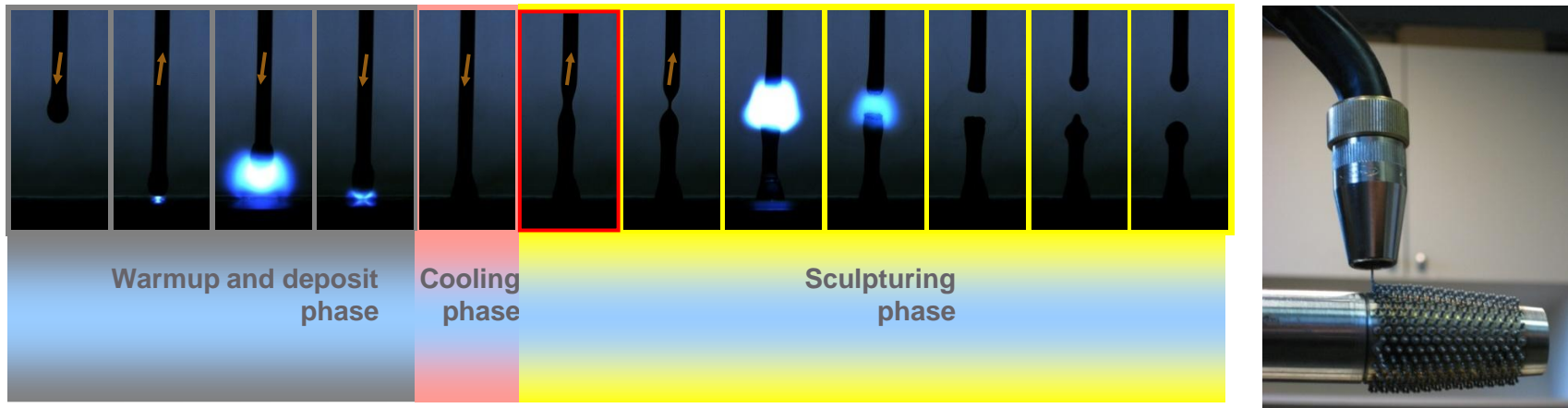
Ziel: Herstellung einer haltbaren Verbindung zwischen einer metallischen und einem Kunststofffaserverbundstruktur

Verfahren: CMT-Schweissen von pins, danach Aufbringen der Fasermatten, dann übliche CFK-Prozeduren (zB RTM)

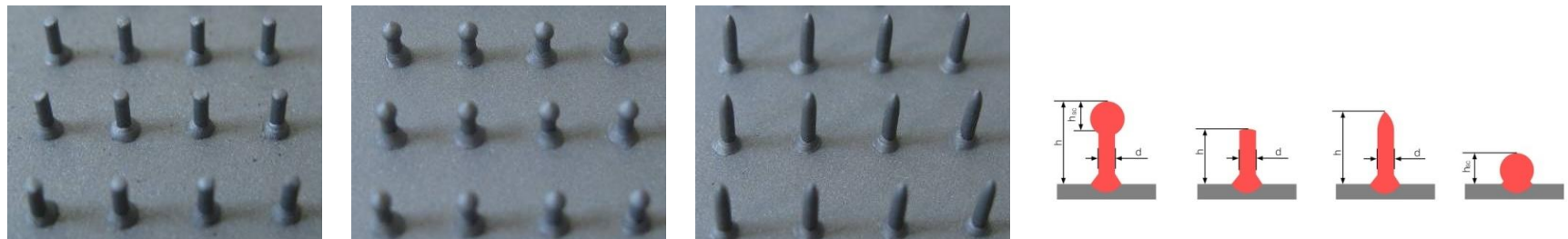
Schwierigkeit: Herstellung der pins in verschiedenen Geometrien und Werkstoffen; CTE mismatch



Metal-Faserverbund-Fügetechnik („IGEL-Technologie“)

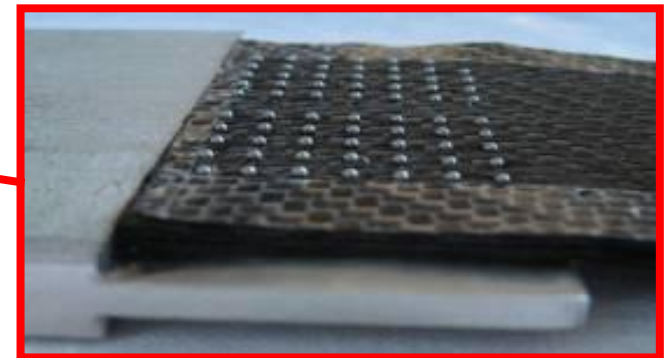
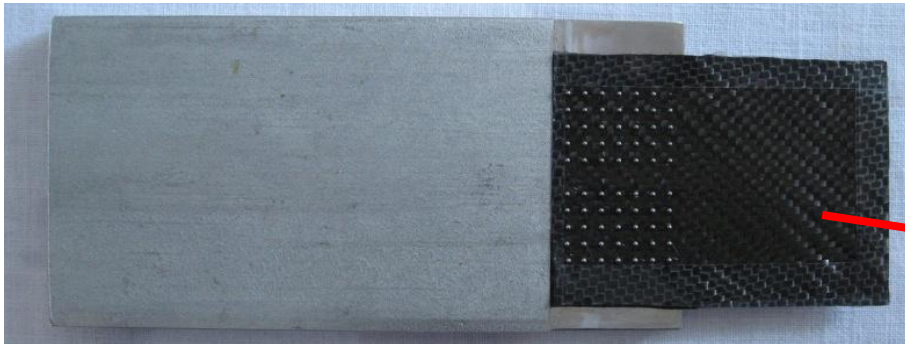
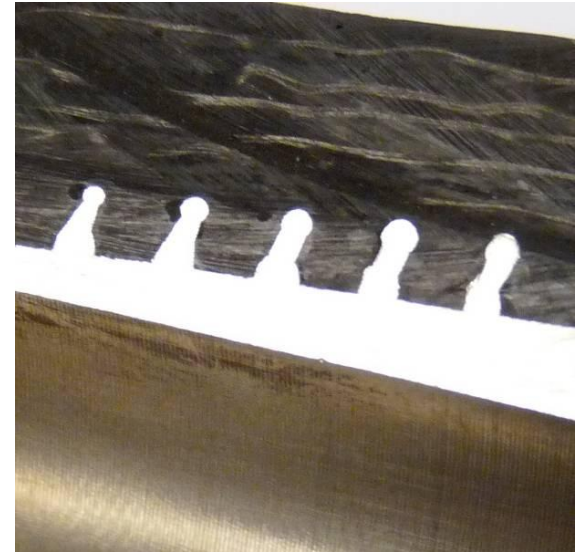


1. Mittels speziell adaptierter Fronius-CMT-Technik können pins in verschiedenen Formen auf metallsubstraten aufgeschweißt werden.



Metall-Faserverbund-Fügetechnik („IGEL-Technologie“)

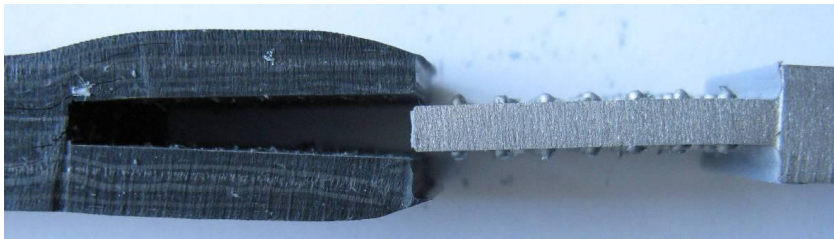
2. Oberflächenbehandlung
3. Aufbringen der Kohle- Glas- Fasermatten (trocken oder als prepregs)
4. Übliche CFK-Prozeduren (zB Autoklav, RTM, ...)



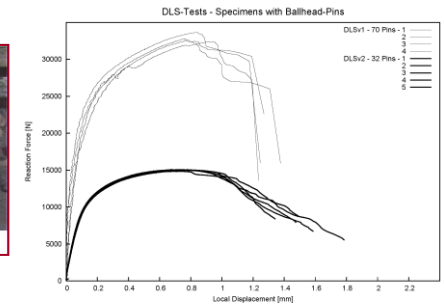
Metall-Faserverbund-Fügetechnik („IGEL-Technologie“)

Unterschiedliche pin-Formen zeigen andere mechanische Last-Weg-Kurven und Versagensformen:

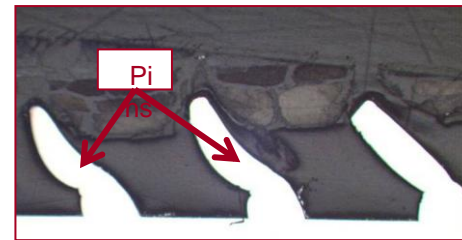
Kugelpins:



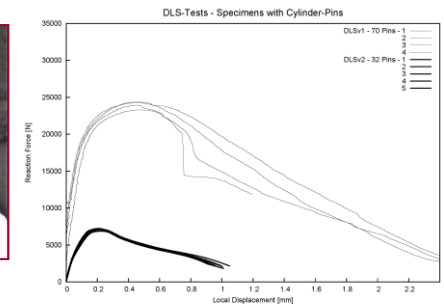
“Pin bending & fracture”



Zylinderpins:



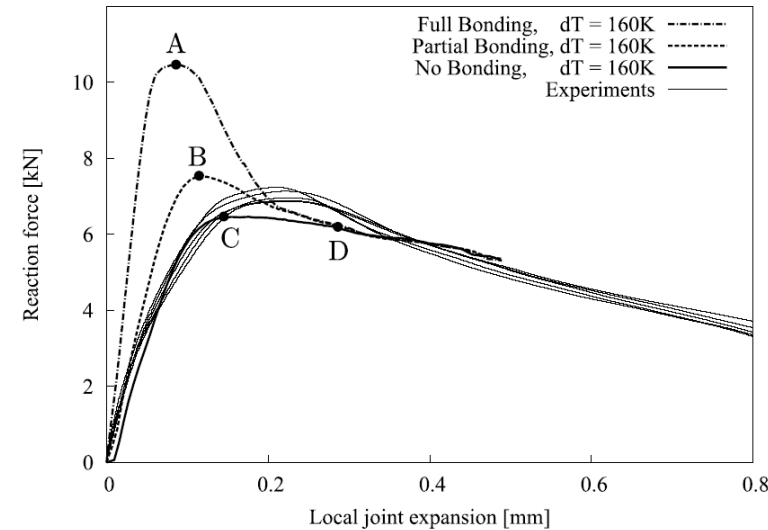
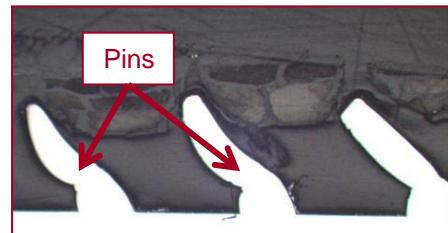
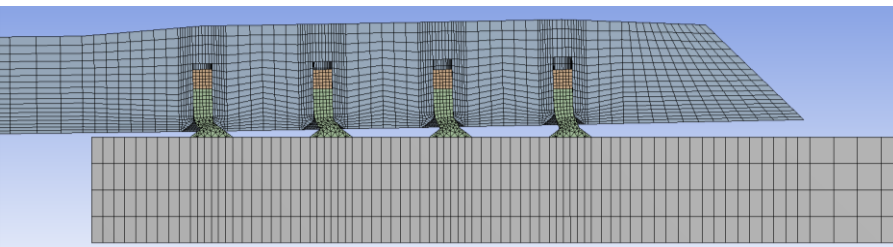
“Pin bending & pull out”



→ Aufgabe der FEM: mechanische Modellierung der Verzerrungen von (thermo-)mechanisch belasteten Fügestellen

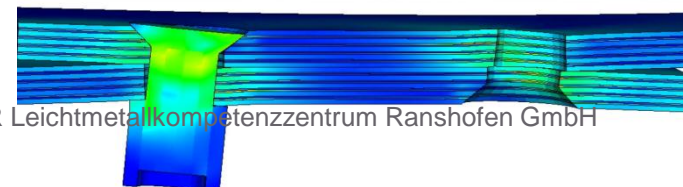
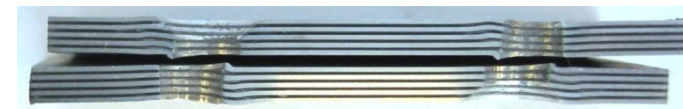
IGEL-Technologie - Virtual Testing

Komplexe FEM-Modelle wurden entwickelt, um die Entwicklung durch Berechnung des Versagens des Formschluss und der Klebeverbindung und Definition von günstigen pin-Anordnungen zu beschleunigen.



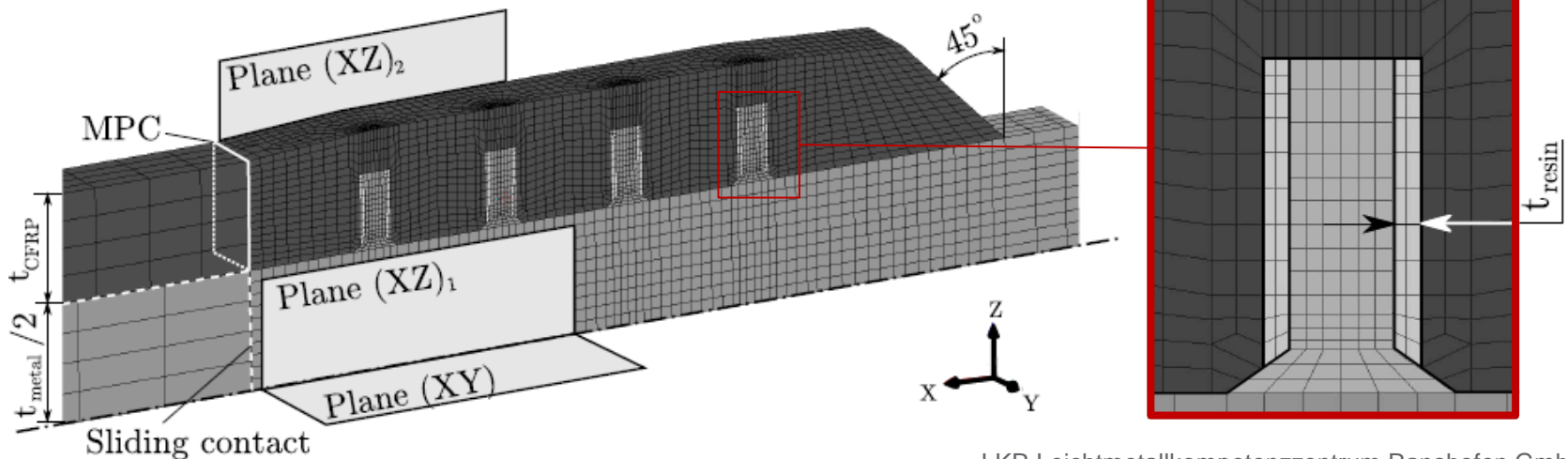
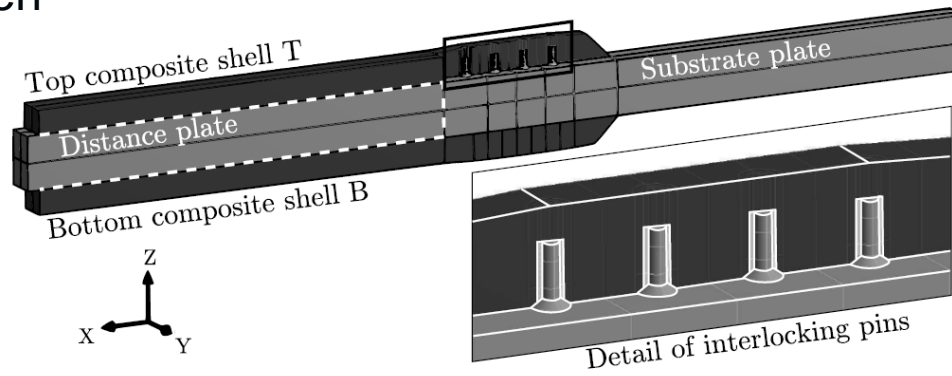
Beispiel: Nietverbindung in GLARE

Source: P. Middendorf: Zukünftige Bedürfnisse der Luftfahrzeughersteller, Meeting Zukunft der Faserverbundwerkstoffe in der österreichischen Luftfahrtindustrie und -forschung, TU Wien, 01.12.2008



Allg. FEM-Ansatz

Abbildung der mechanischen Charakteristika der wesentlichen Regionen (FVK, Metall, pin, Harzzone) und der Randbedingungen unter Nutzung sinnvoller Vereinfachungen



Hybridguss



.... in Kombination mit pins als Basis für einen Hinterschnitt (**IGEL-Technologie**).

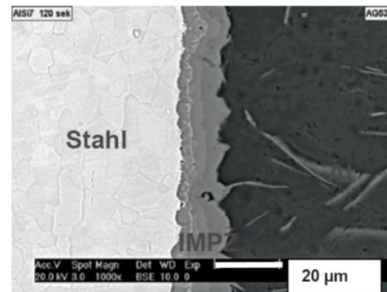
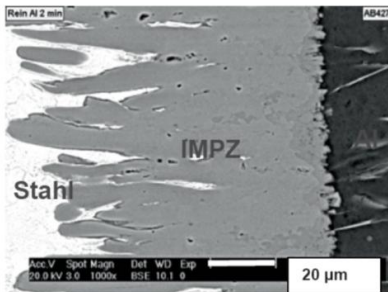
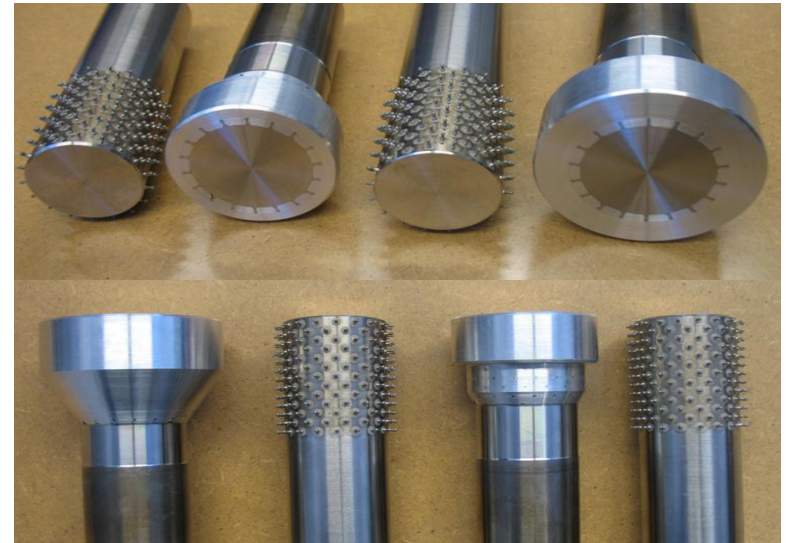
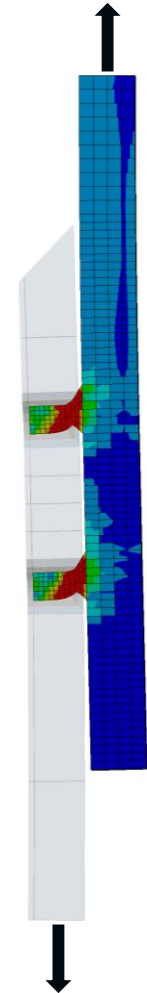


Abbildung 6: Deutliche Reduktion der Dicke der intermetallischen Phasenzone bei AISi7 – Fe (rechts) im Vergleich zur Anbindung von Al99.98% – Fe (links).

Projekt Zusammenfassung

- Im Transportwesen führen verschiedene Treiber, vor allem Verbrauchsreduzierung und Sicherheitsaspekte dazu, dass neue Lösungen oft in Materialmischbauweise gesucht werden.
- Ein Schlüssel für die wirtschaftliche Umsetzung ist häufig die Fügetechnik.
- Verschiedene Lösungsansätze für die sichere und effiziente Verbindung konventioneller und neuartiger Materialkombination wurden gezeigt.
- Eine vielversprechende Option ist das Fügen von Faserverstärktem Kunststoff und Metall mittels aufgeschweißter Stifte (pins).







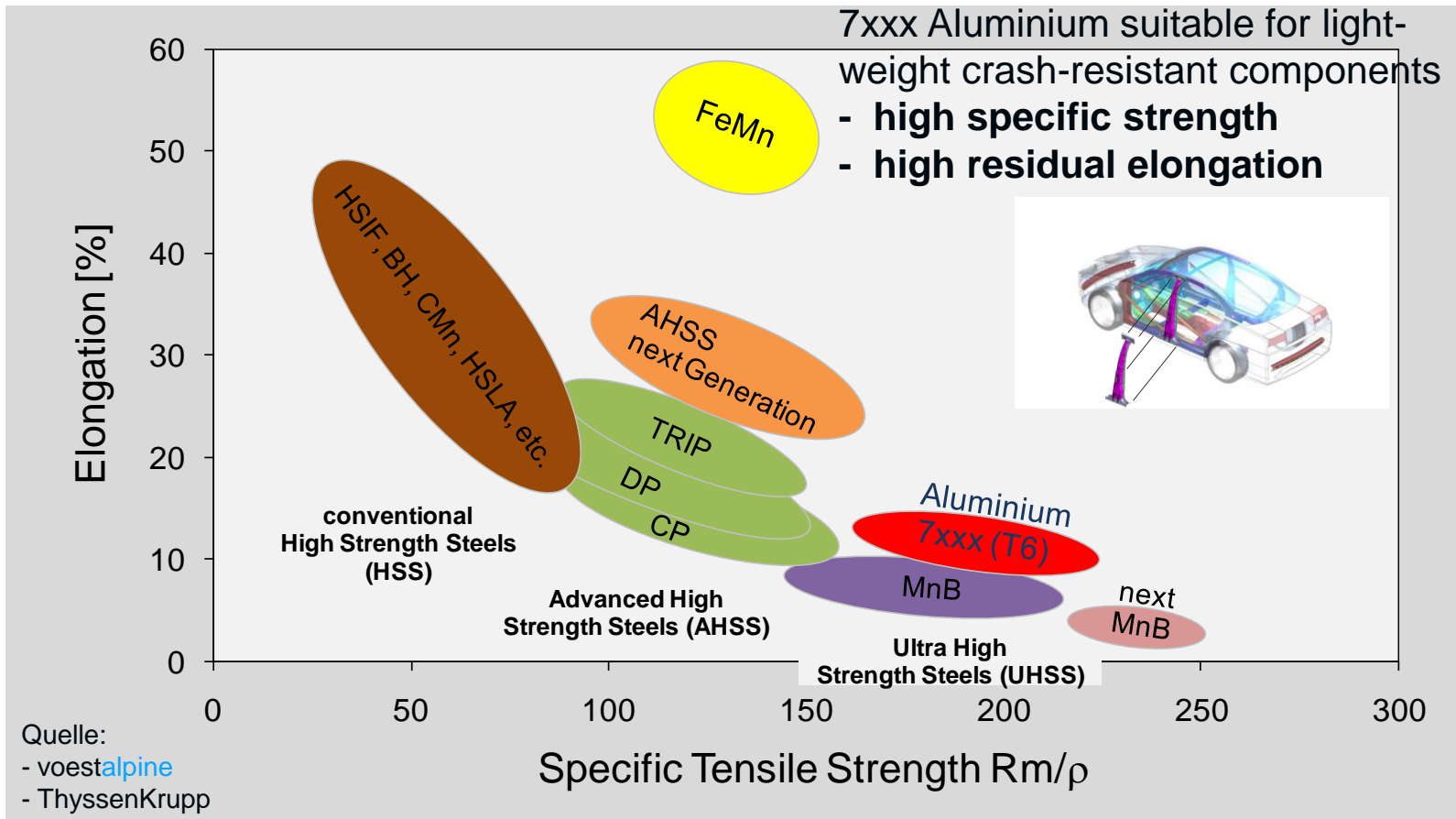




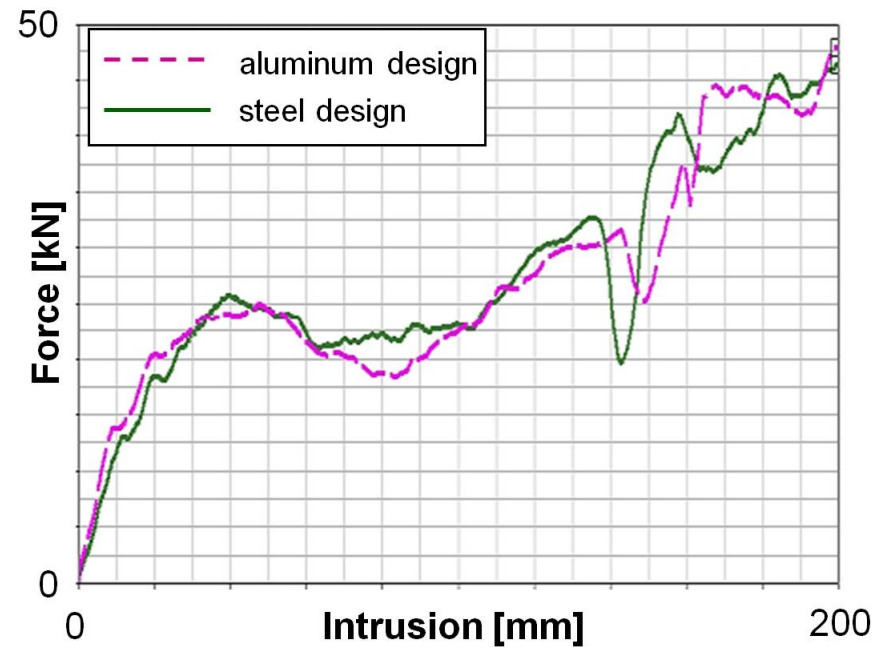
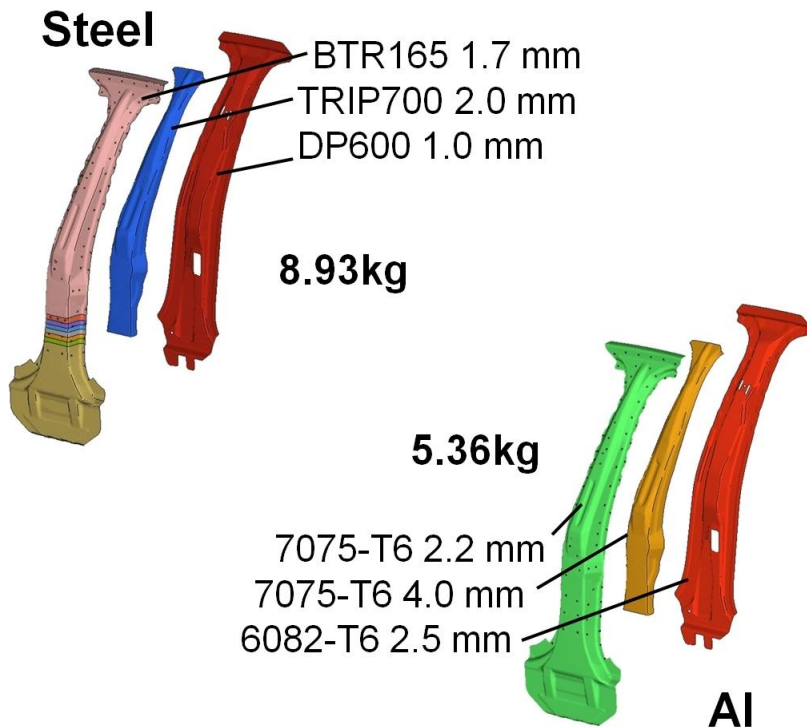

Material properties for lightweight structural design UHSS vs. 5xxx-, 6xxx- and 7xxx-Aluminium

	UHSS (MnB)	5xxx	6xxx	7xxx
Density ρ [g/cm ³]	7,85	2,7		
Young's modulus E [kN/mm ²]	210	70		
Specific tensile strength R_m/ρ [MPa / g/cm ³]	200	110	130	220
Specific stiffness E/ ρ [kN/mm ² / g/cm ³]	27	26		

7xxx for light-weight crash-resistant automotive components

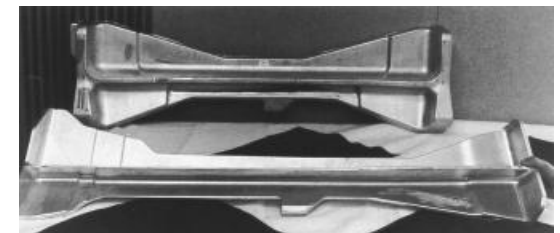


Aluminium vs. Steel B-Pillar Performance Comparison (FEM)



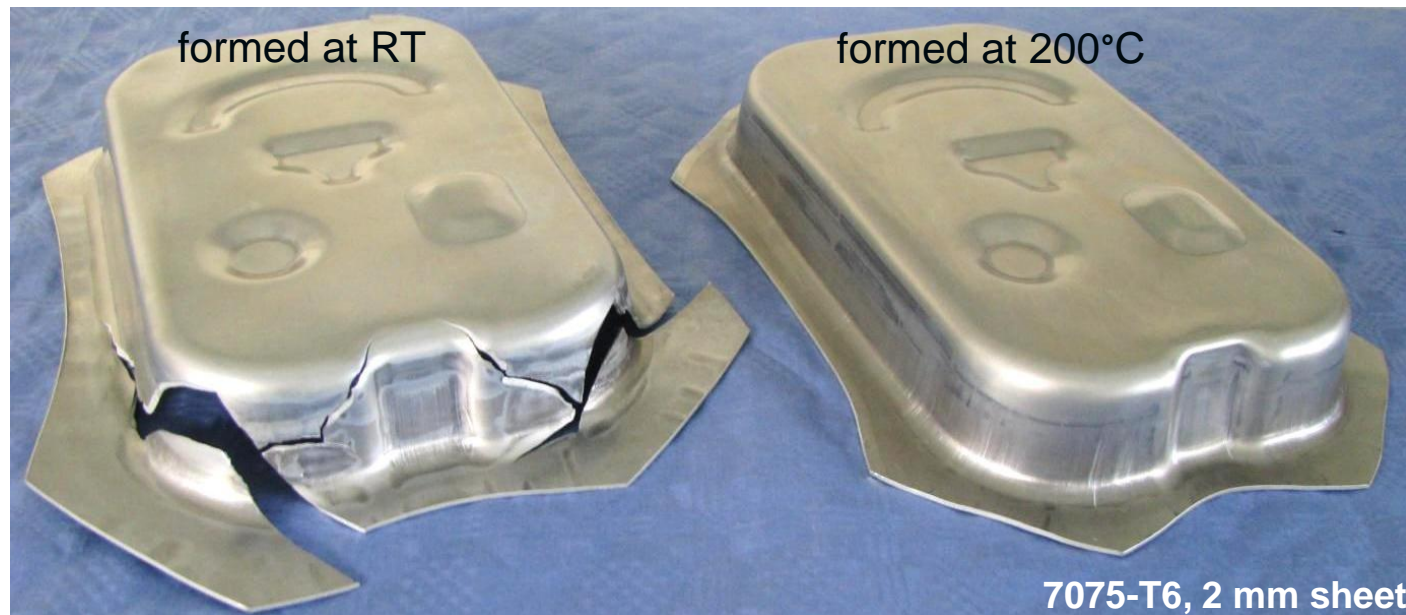
7xxx - AlZnMg(Cu) - Aluminium Alloys

- Age hardenable aluminium alloys
- (can be tempered to produce different grades with varying mechanical properties)
- Application in airframe structures
(e.g. critical wing structures, long-length drill pipe, forged parts)
- Specific properties
 - + High specific dent resistance and energy-absorption
 - + Very high specific tensile strength
 - + Unlimited shelf life in temper T6
 - + Mechanically joined
 - More sensitive to corrosion effects
 - Ultra high strength 7xxx alloys not suitable for conventional welding
/solidification cracking/
 - Limited cold formability in as-delivered condition
(T6 temper)



Warm forming 7xxx-Aluminium

- Semi-hot forming – suitable approach to improve the formability
- Ductility of aluminium alloys and the forming limit increases and flow resistance decreases
- Aluminium formability increases due to recovery



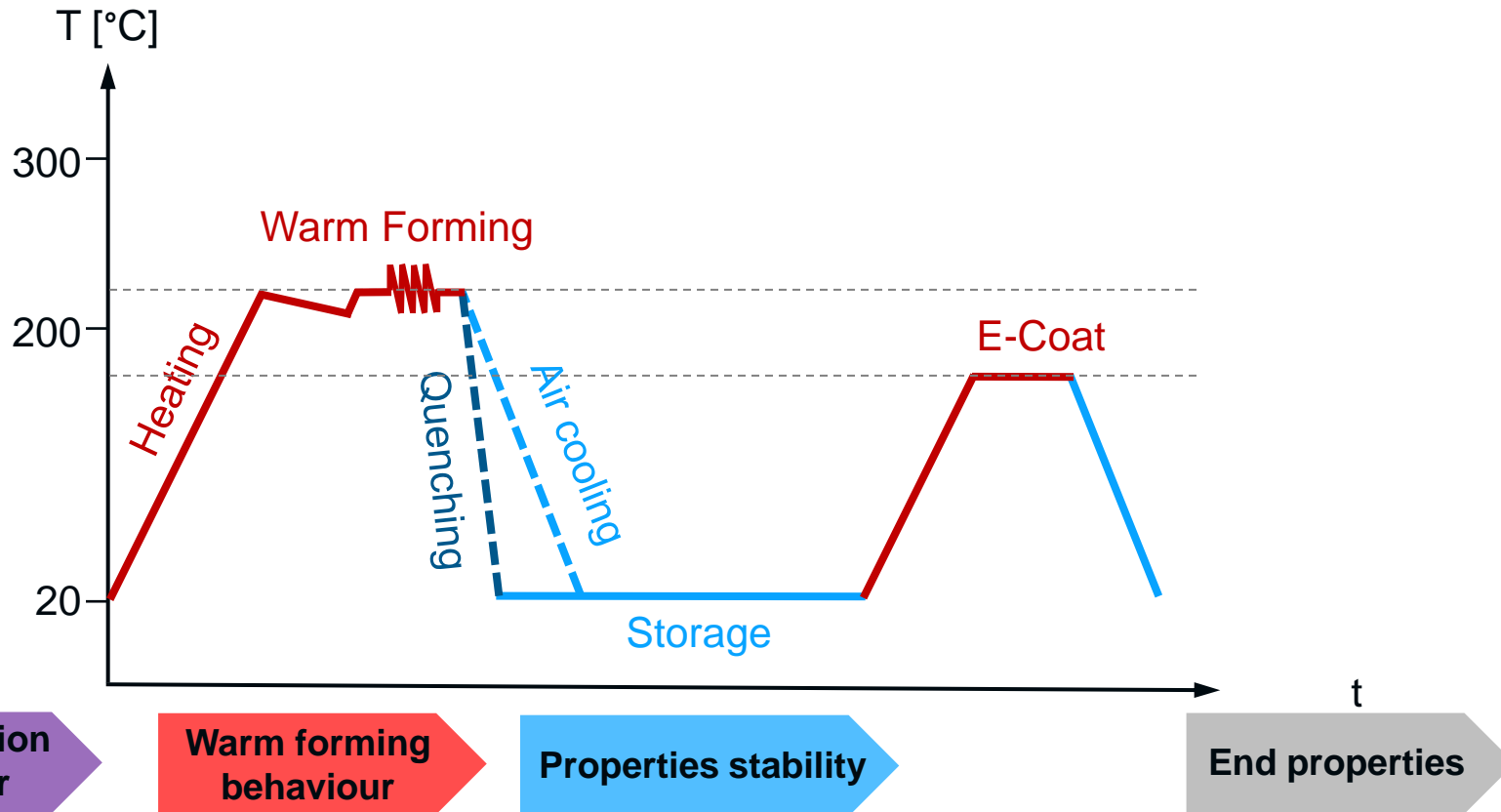
Warm forming strategies 7075-T6 sheet



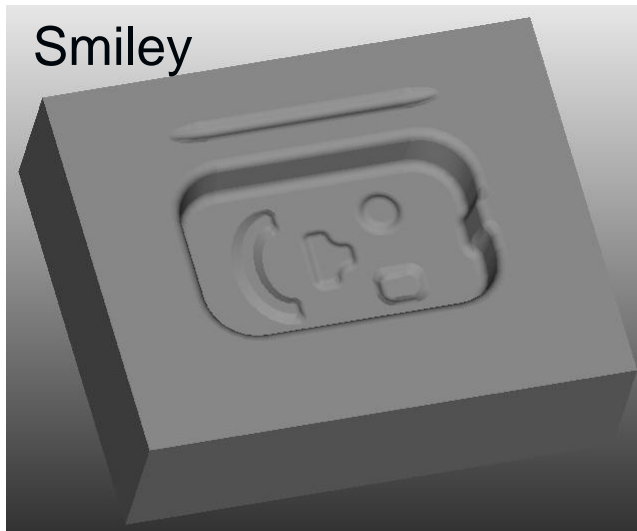
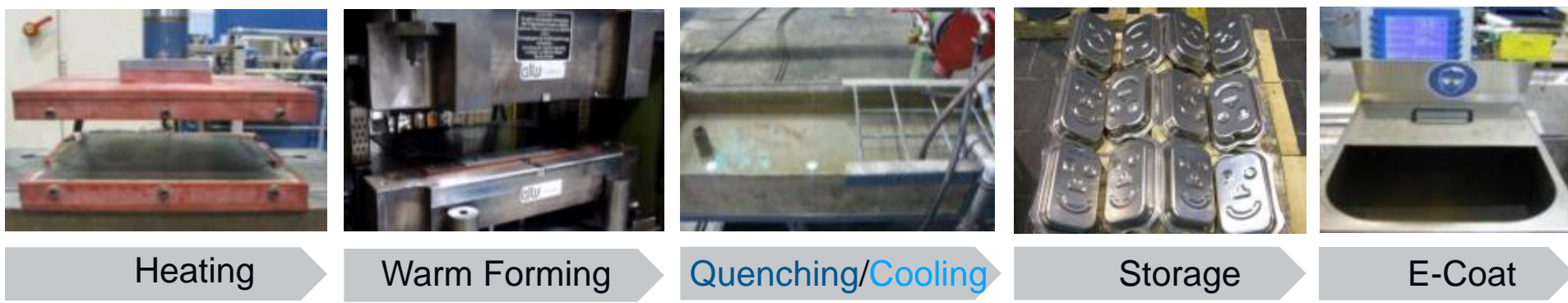
Warm forming with air cooling



Warm forming with quenching



Experimental

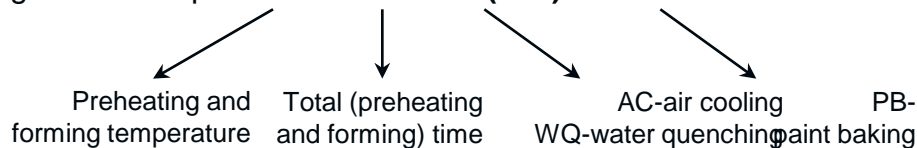


- For formability evaluation
- Die geometry: AMAG “Smiley tool” based on voestalpine “Smiley tool”
- Dimensions 295 x 180 mm
- 2 drawing depths (30 and 50 mm)
- Variable secondary design elements (eyes, nose, mouth)

Experimental

Heating	200°C					230°C				
	30s	45s	60s	180s	300s	30s	45s	60s	180s	300s
Warm Forming										
Quenching / Cooling	Water / Air <i>Determination of temporary mechanical properties immediately after quenching / cooling</i>									
Storage time (at RT)	<i>Determination of temporary mechanical properties after 2 days, 1 week, 2 weeks</i>									
E-Coat	<i>Paint Baking 2 weeks after forming at 185°C / 20 Min</i>									
	Determination of final mechanical properties Determination of SCC resistance									

e.g. test description: **200°C-30s-AC(WQ)/with PB**



Position of tension samples



Summary

- High-strength 7xxx series aluminium alloys offer a significant potential for weight reduction of lightweight structures, because of their high specific strength
- Warm forming of high-strength 7xxx (AlZnMgCu) aluminium in T6 temper offers the possibility of deep drawing of complex sheet products, which cannot be made at room temperature without the employment of pre- and post- forming heat treatment processes
- Warm forming of sheet metal EN AW-7075 in T6 followed by air cooling or quenching and e-coat treatment cause a slightly to moderate decrease in strength because of overageing and retrogression/reageing effects
- Electrical conductivity increases with increasing temperatures and holding times, which correlates with increasing stress corrosion susceptibility (SCC) resistance

Auslegung einer Statornabe aus Mg für einen eisenlosen Radnabenmotor

■ **Herkömmliche Fahrzeugantriebe – Verbrennungsmotoren**

- Abhängigkeit von Öl & Gas
- Hohe Emissionskennwerte



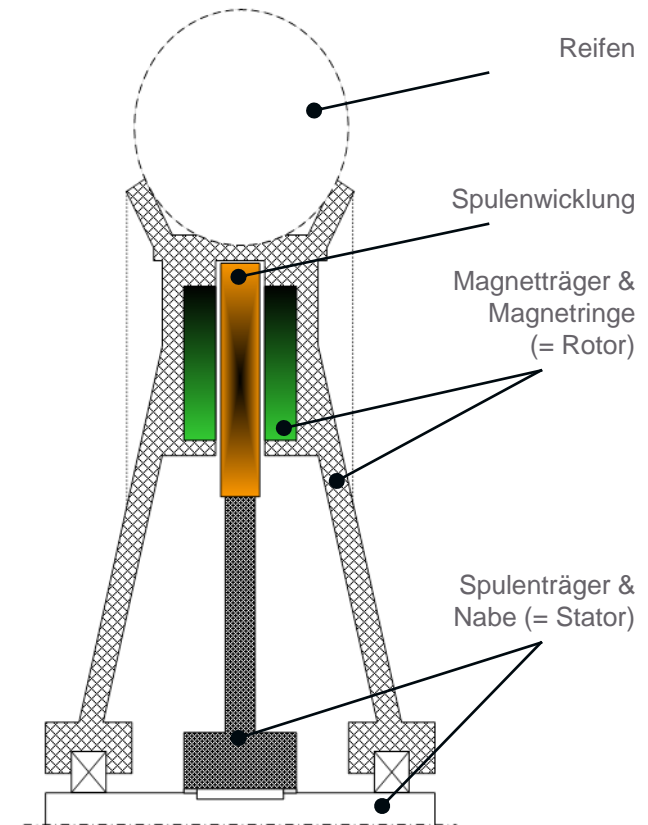
■ **Hybridantriebe – Verbrennungs- & Elektromotoren**

- Abhängigkeit von Öl & Gas
- Reduzierte Emissionskennwerte
- Unterstützung herkömmlicher Fahrzeugantriebe (je nach Fahrzyklus)
- Verwendung von Energierückgewinnung
- Verminderter Kraftstoffverbrauch
- Verbesserter Gesamtwirkungsgrad
- Einsatz in Großserien



Einführung und Aufgabe

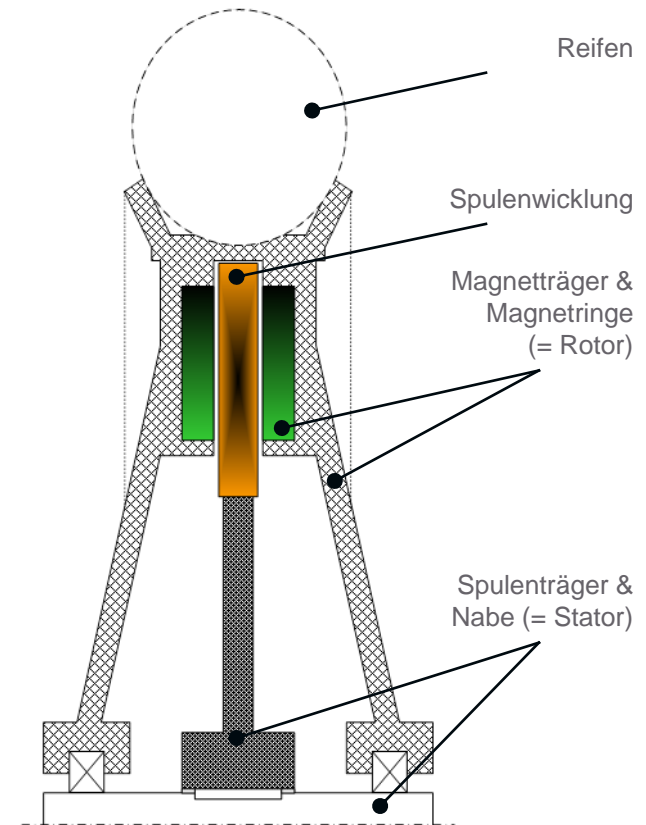
- Entwicklung eines eisenlosen Direktantriebs ...
 - ... permanentmagneterregt
 - ... mit hohem Gesamtwirkungsgrad
 - ... großer Drehmomentbandbreite
 - ... geringem Gewicht
 - ... hoher Lebensdauer
 - ... geringem Wartungsaufwand
 - ... Reduktion der Komponentenanzahl
(Getriebe, Differential, Kardanwelle, ...)



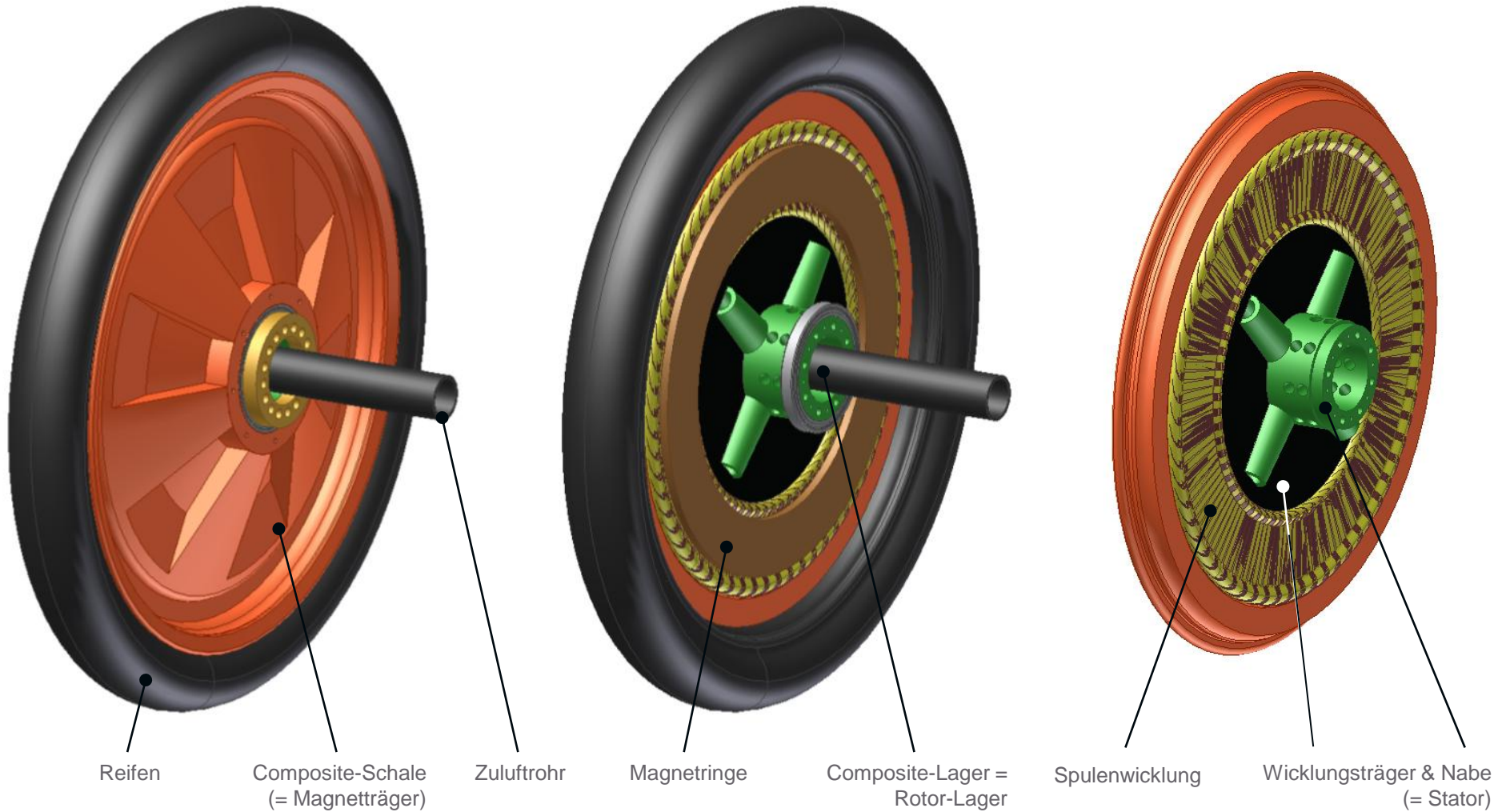
Leistungsdaten

- Elektrisch:
 - Dauerleistung: 3,5 kW
 - Spitzenleistung: ~7.5 fach für 10 Sek.
 - Reifendimension: 21 Zoll
 - Max. Geschwindigkeit: 80 km/h
 - Magnetanordnung: „Halbach Array“

- Mechanisch:
 - Auslegungslast: $m = \frac{1}{4} * 1000 \text{ kg} = 250 \text{ kg}$
 - Querlast Kurvenfahrt: $m * 1,5 * g$
 - Randstein-Anprall unter 30° : $m * 2,5 * g$
 - Antriebsmoment: $M = 55 \text{ Nm}$
 - Spitzenmoment: $M * 5$



E-Motor Aufbau



Reifen

Composite-Schale
(= Magnetträger)

Zuluftrohr

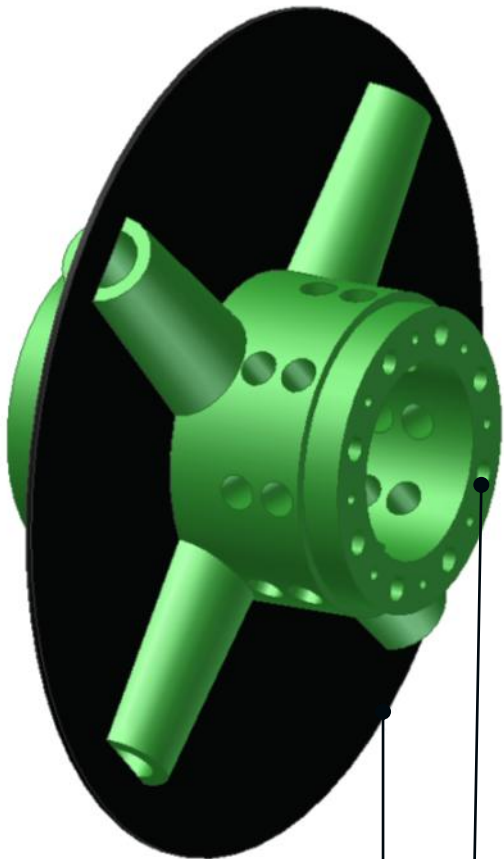
Magnetringe

Composite-Lager =
Rotor-Lager

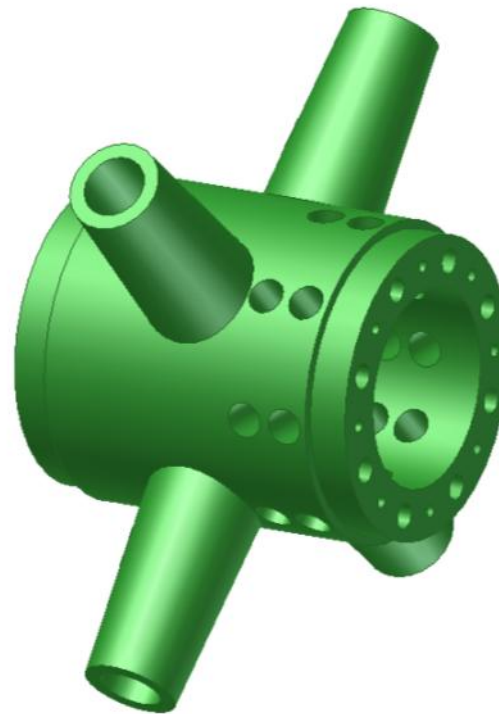
Spulenwicklung

Wicklungsträger & Nabe
(= Stator)

FEM-Modellierung Statornabe



Wicklungsträger & Nabe
(= Stator)



Statornabe herzustellen im Niederdruck-
Sandgussverfahren

Werkstoff: Mg-Legierung AZ91



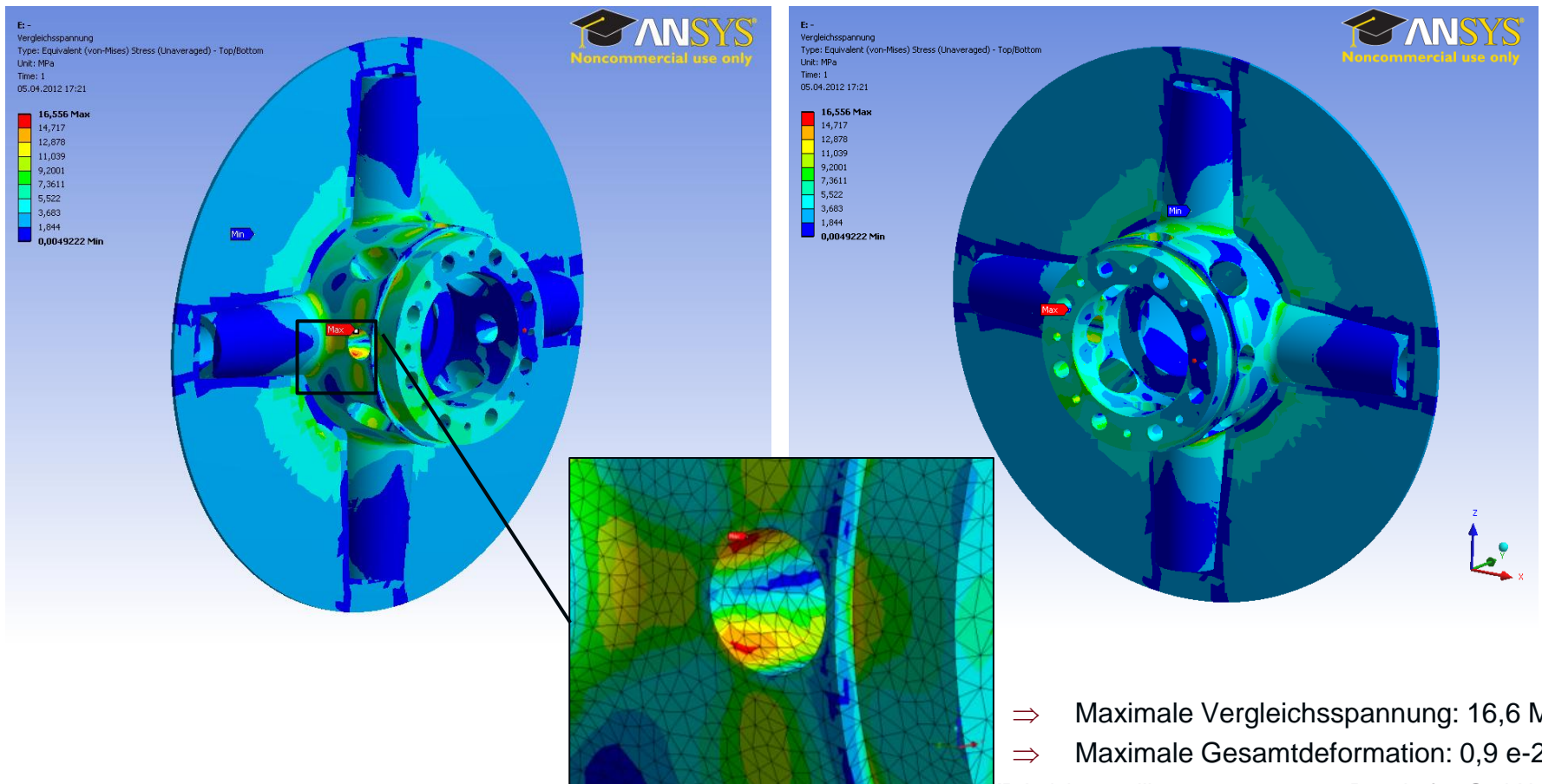
Wicklungsträger (Glasfaser) herzustellen im
Auflege- und Laminierverfahren

**Werkstoff: Glasfaser-Epoxid-Composite,
8-lagiger quasi-isotroper Lagenaufbau**

LKR Leichtmetallkompetenzzentrum Ranshofen GmbH

FEM-Modellierung Statornabe

- Lastfall 1: Vergleichsspannungen nach vMises



Statornabe Abguss & Prototyp

Niederdruckguss Gießnabe

- Anlage: Kurtz AK92 ND
- Prozesszeit: 60sec
- Gießdruck 0,4bar
- Legierung: AZ91 (G-MgAl9Zn1)
- Schmelzetemperatur: 700°C
- CAD verwendet um Gießformen & Gießkerne herstellen zu lassen
- Form- und Kern aus 2K-Furan-Harz-System



Statornabe Abguss & Prototyp

- Vollständige Formfüllung gewährleistet



Projekt Zusammenfassung

- Konzeptvorstellung v. eisenlosen Direktantrieb
- Unterstützte Auslegung und Gewichtsoptimierung durch CFD-, FEM-, und Gießsimulation
- Spannungsanalyse & Bestimmung höchst belasteter Zonen
- Vergleich mit stat./dyn. Kenndaten für AZ91 in Wöhlerdiagramm
- Freigabe der Konstruktion für Niederdruck-Formguss
- Abguss v. Prototypen

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG,
Klima- und Energiefonds „Neue Energien 2020“, für das Förderprojekt
829727 „HeAL – High efficienct ironless drive for lightweight vehicles“

Projektpartnern:

AIT , DFM Technologies GmbH; Lynx Composites GmbH

AIT Austrian Institute of Technology

your ingenious partner

Mobility Department

Light Metals Technologies Ranshofen