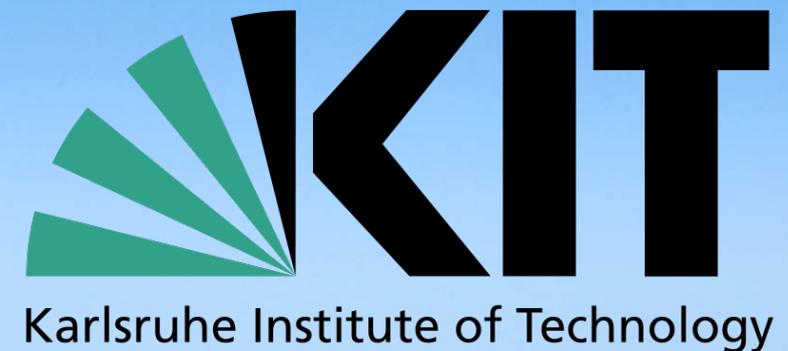


Neue Energieeffiziente Hochfrequenztechnologien für die industrielle Produktion von CFK-Strukturen im Verkehrswesen

Mit kalten Öfen zu energieeffizienten Produktionstechnologien der Zukunft



PD Dr.-Ing. habil. Lambert Feher

EEEfCOM 2010

17.Juni 2010

Workshop "Energieeffiziente Mikrowellen-
Produktionssysteme für Luftfahrt und
Automobil-Leichtbau"

ILA: Halle 8, Stand 208



KIT
Verlässliche Composite Qualität
für Großstrukturen
Bark HEPHAISTOS

Industrielle Mehrschicht-Struktur
mit Verstärkung aus unidirektionaler
Faserstoffglasgewebe
Längsorientiert hergestellter Prozess

142 1402 verbesserte Fertigung der
BA-Struktur ohne Effizienz- und
Kostenverluste
Stärkung der Prozess- und
Materialgenauigkeit

Referenzen:

- EADS Composite Research Center
Leipzig
- Continental Stuttgart
Kern der HEPHAISTOS

**Enhanced
Composite Quality with
HEPHAISTOS for Large Parts**

Composite material offers many
advantages as replacement of the
traditional aluminum composite for
substantially advanced variants.

The goal of the application of fiber
effects and efficiency in the air-
craft components of process and
control processes.

Address:
• EADS Composite Research Center
Leipzig
• Continental Stuttgart
Kern der HEPHAISTOS

KIT
Verlässliche Composite Qualität
für Großstrukturen
Bark HEPHAISTOS

Industrielle Mehrschicht-Struktur
mit Verstärkung aus unidirektionaler
Faserstoffglasgewebe
Längsorientiert hergestellter Prozess

142 1402 verbesserte Fertigung der
BA-Struktur ohne Effizienz- und
Kostenverluste
Stärkung der Prozess- und
Materialgenauigkeit

Referenzen:

- EADS Composite Research Center
Leipzig
- Continental Stuttgart
Kern der HEPHAISTOS

**Enhanced
Composite Quality with
HEPHAISTOS for Large Parts**

Composite material offers many
advantages as replacement of the
traditional aluminum composite for
substantially advanced variants.

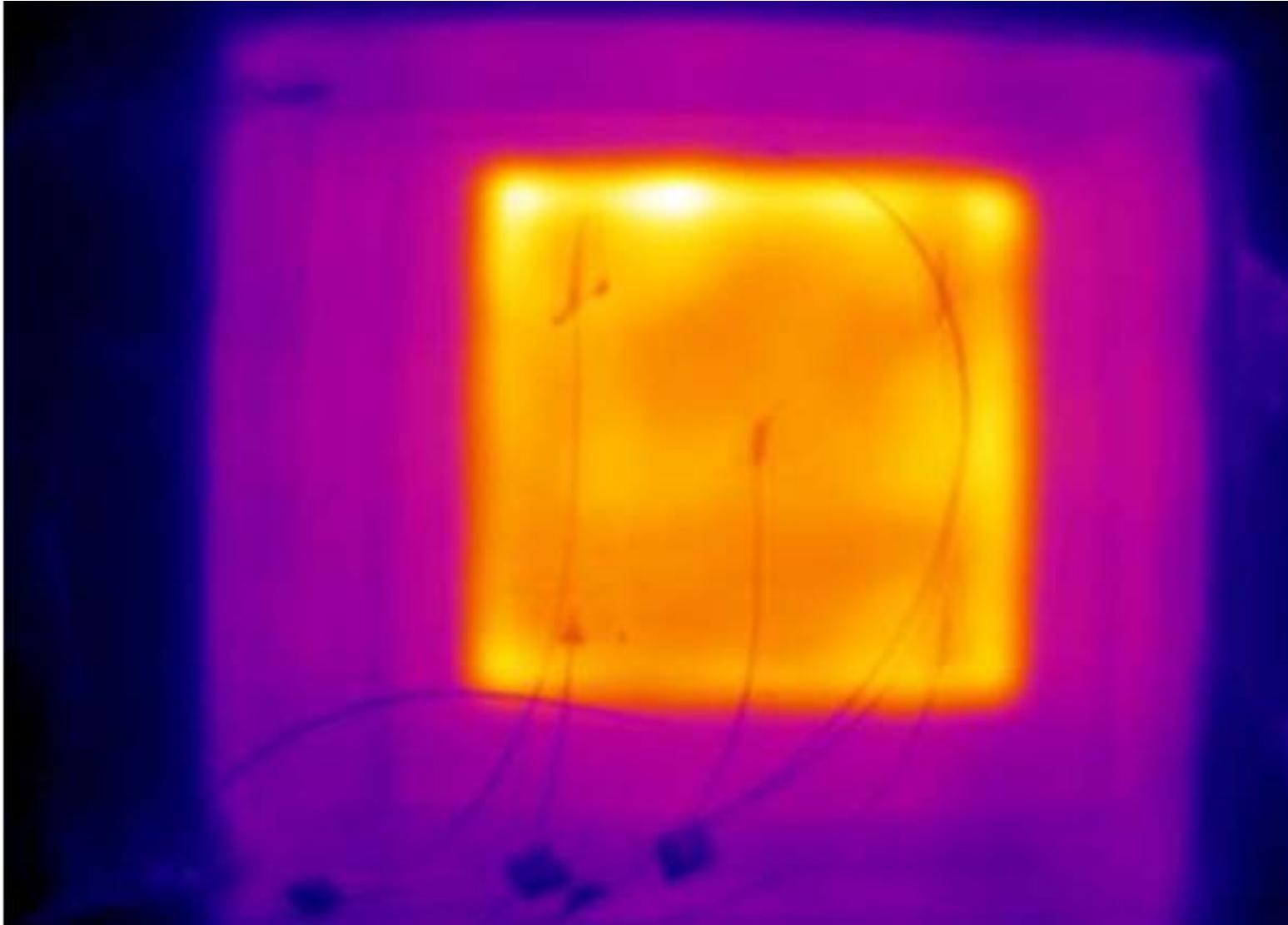
The goal of the application of fiber
effects and efficiency in the air-
craft components of process and
control processes.

Address:
• EADS Composite Research Center
Leipzig
• Continental Stuttgart
Kern der HEPHAISTOS

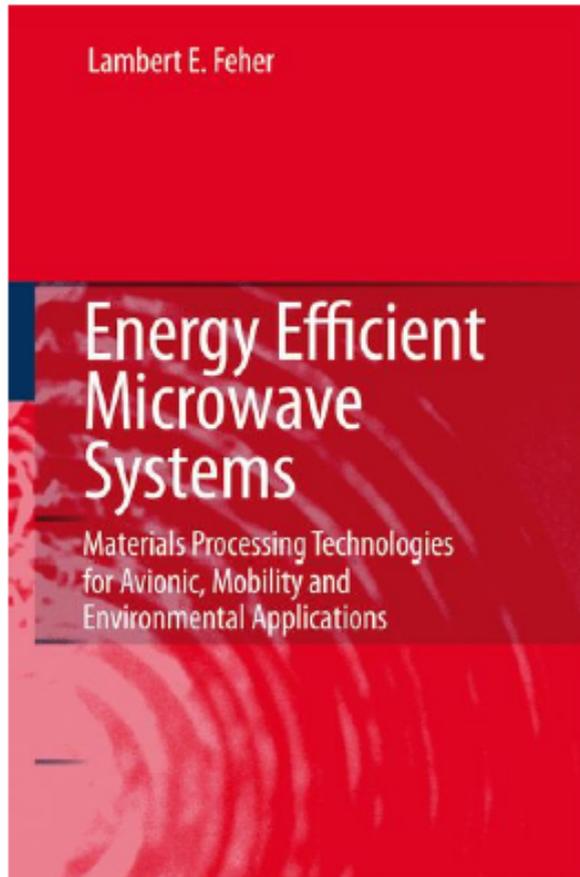


Pressemitteilung: Der schwarzen Kunst auf den Leim gegangen

KIT entwickelt Verfahren zur Fertigung von Glasfaserkompositen mit Mikrowellen



Mit Hilfe der HEPHAISTOS-Technologie können große und dicke GFK-Strukturen ausgehärtet werden.



Lambert E. Feher, IHMF Karlsruhe GmbH, Eggenstein-Leopoldshafen, Germany

Energy Efficient Microwave Systems

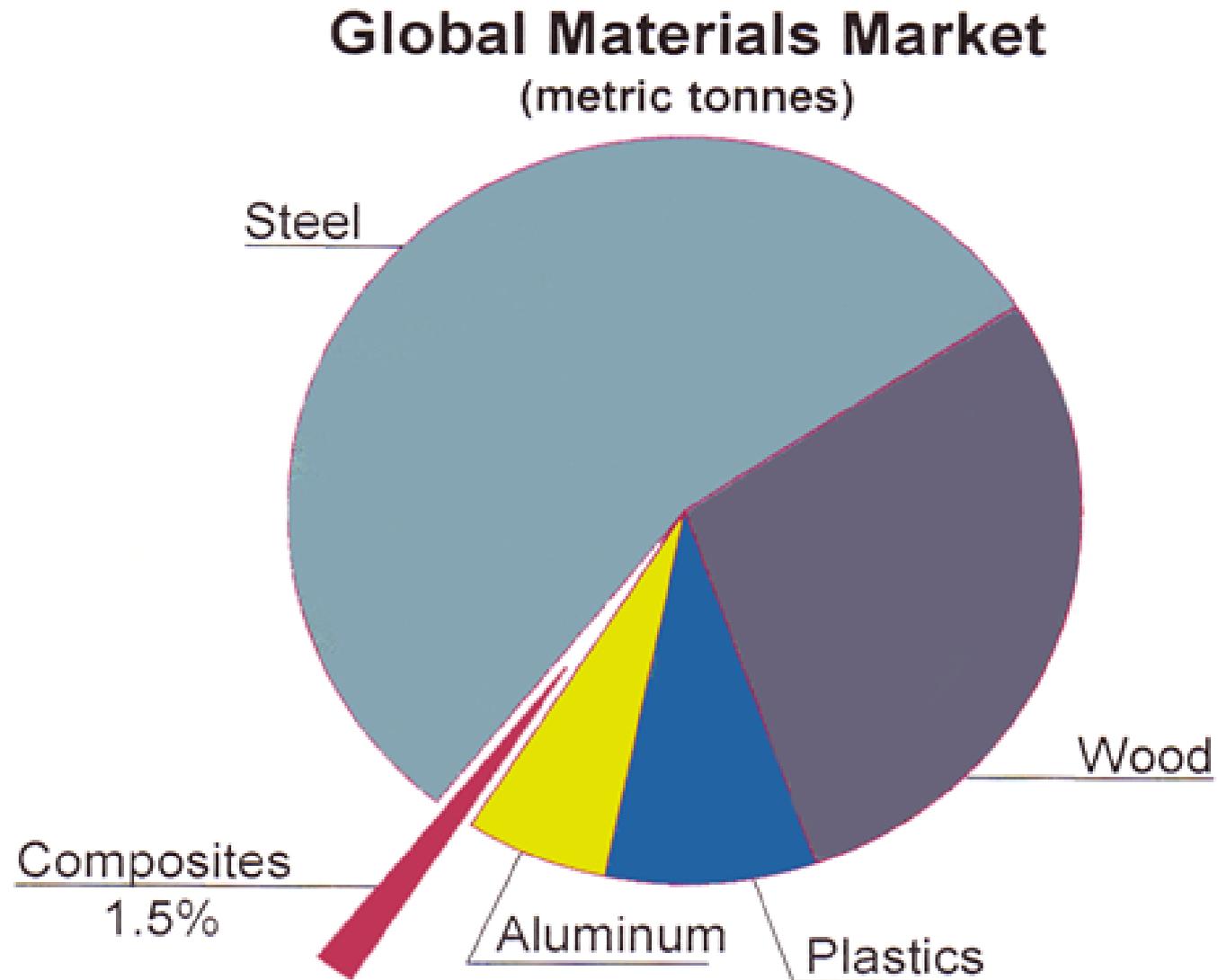
Materials Processing Technologies for Avionic, Mobility and Environmental Applications

Many individual technological solutions for microwave applications in industries have been developed without a clear pattern for a key strategy to replace conventional industrial technologies. In this work, the author shows how a modular microwave system line for very homogenous microwave fields is originated. 'Energy Efficient Microwave Technologies' is designed for engineers and scientists from industry and academic research. The number of applications of this new technology is enormous: In this book, applications in the avionic field are shown as well as new methods in microwave materials processing for composite materials including new quantum aspects on microwave heating.

Contents: Introduction.- Industrial Microwave Sources at ISM Frequencies.- Microwave Heating – Dielectric Properties and Energy Conversion.- Efficient Microwave Transmission Devices and Measurements.- Avionic Microwave Anti- and Deicing Systems.- Processing Technology for Composite Materials.

2009. XVI, 114 p. 168 illus., 59 in color. Hardcover



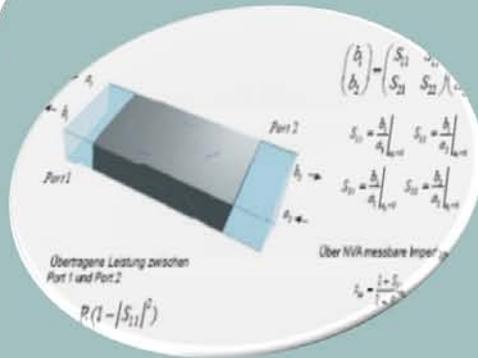


Source: OCV



Energieeffiziente Industrielle Mikrowellentechnik

Bandbreite der Aktivitäten



Lehre

Fakultät für Elektrotechnik
 Institut für
 Hochfrequenztechnik und
 Elektronik – IHE (Campus
 Süd)



Forschung

Projektleitung BMBF

Helmholtz – Programm -
 Forschung
 „Energy Efficient
 Processes“

Helmholtzprojekt Innomat
 (Innovationsforschung)



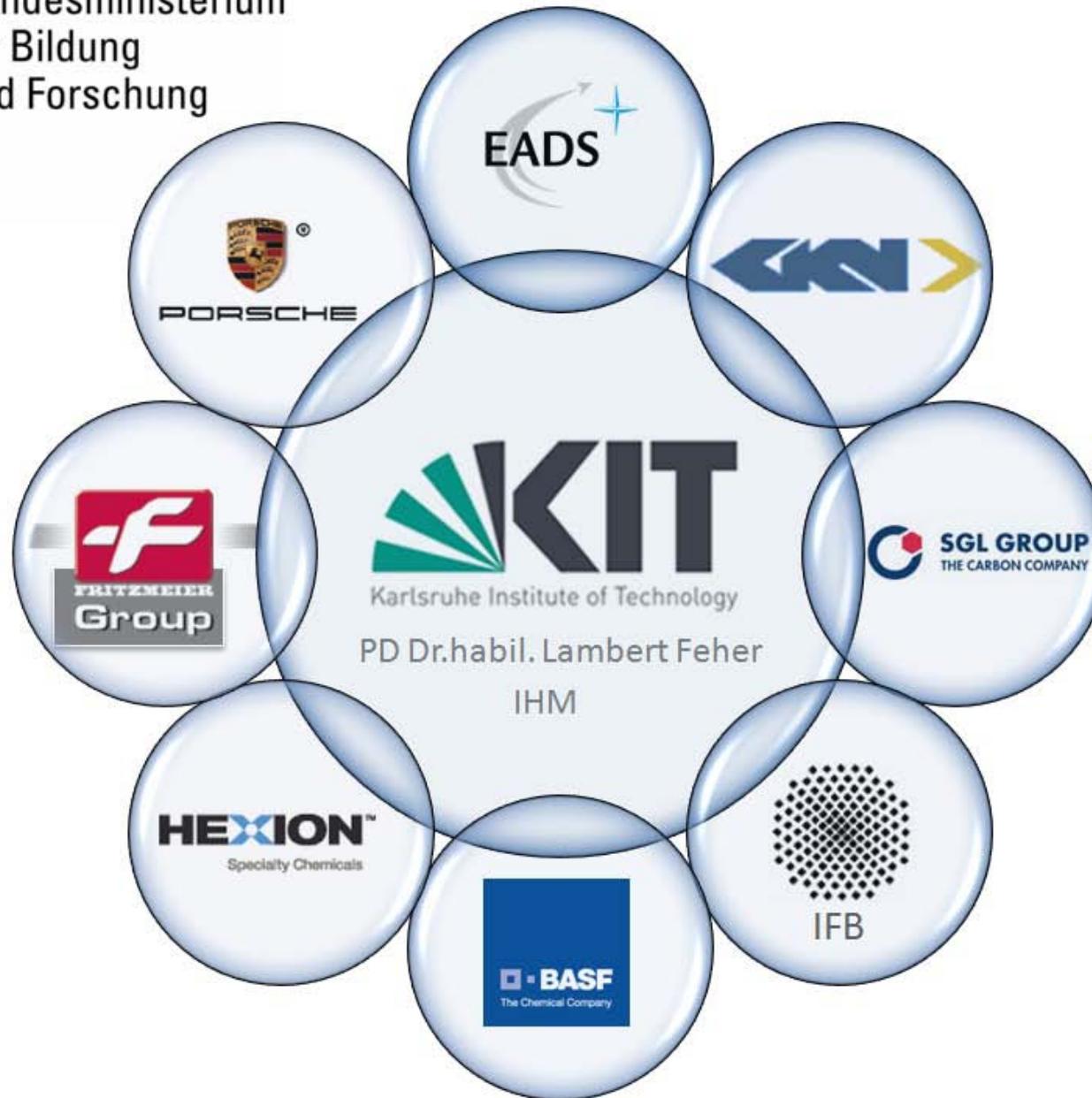
Innovation

Technologie Transfer
 Projekte

HEF-Antrag



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Das HEPHAISTOS Experimental Centre (HEC)



Mikrowellen-Prozessierung großer CFK Strukturen



IFB Institut für Flugzeugbau
Universität Stuttgart



JEC
COMPOSITES

- Benefit from the leading composites network in the world
- JEC Composites Show: the biggest exhibition in Europe
- JEC Show Asia: the new composites platform in Asia-Pacific
- JEC Composites Magazine: the first international magazine

Vötsch

Industrietechnik

www.jeccomposites.com

Composites Community

- Composites News
- Composites Agenda
- Composites Directory
- Composites Videos
- Composites Jobs

JEC Services

- JEC Exhibitions
- JEC Forums
- JEC Innovation Programme
- JEC Magazine & E-letters
- JEC Publications

About JEC

[Home](#) / [Composites News](#) / [Process & Equipment](#)

18 Nov 2009 - United Kingdom / Germany

GKN Aerospace is purchasing its first industrial standard microwave oven

Phil Grainger, Senior Technical Director and Chief Technologist, GKN Aerospace comments: *"This investment in microwave curing will deliver clear benefits, in the drive for greater process flexibility, reduced manufacturing times, higher rate manufacture and lower energy consumption."*

This new equipment will be used by GKN Aerospace engineers in Munich, Germany, to progress research work that has been ongoing since 2005 into the use of microwaves in the production of composite structures. Currently the curing process is most commonly achieved using an autoclave. The autoclave is a highly effective processing oven, but is expensive, time consuming and energy heavy - representing a significant and

Gemeinsame Pressemitteilung
im Februar 2010 von

KIT
DLR Projektträger Umwelt
BMBF
GKN Aerospace
Vötsch Industrietechnik





Spoiler (CFK) eines Porsche – Der Prozess wird für den Fertigungsprozess vorbereitet

Werkzeug auf CFK:

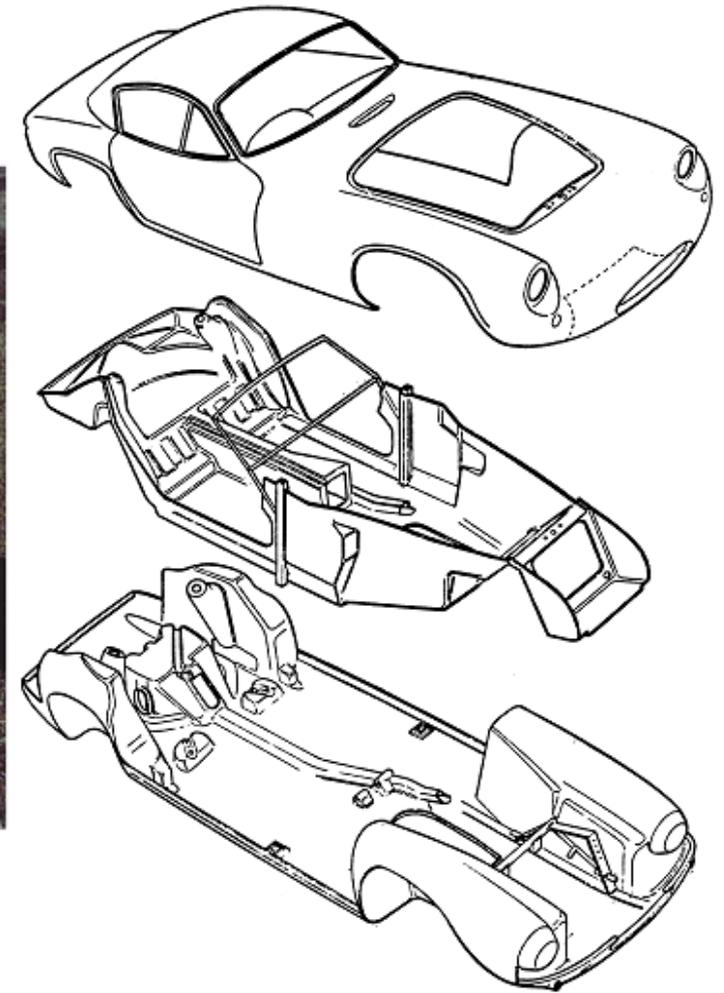


Gefertigte Bauteile aus CFK in Klarlack (links: silber, rechts: schwarz)





Lotus Elite Serie 1 (1957); Erstes Serienfahrzeug mit tragender FVK-Struktur



- Zunehmender CFK Anteil in allen neuen Luftfahrtprogrammen, Große Strukturen
- Bisher wurden nur wenig Verbesserungen in den Kosten erreicht – der Autoklav ist nach wie vor das “Rückrad” der CFK-Prozessierung



Herstellungs- and Prozesskosten müssen deutlich gesenkt werden

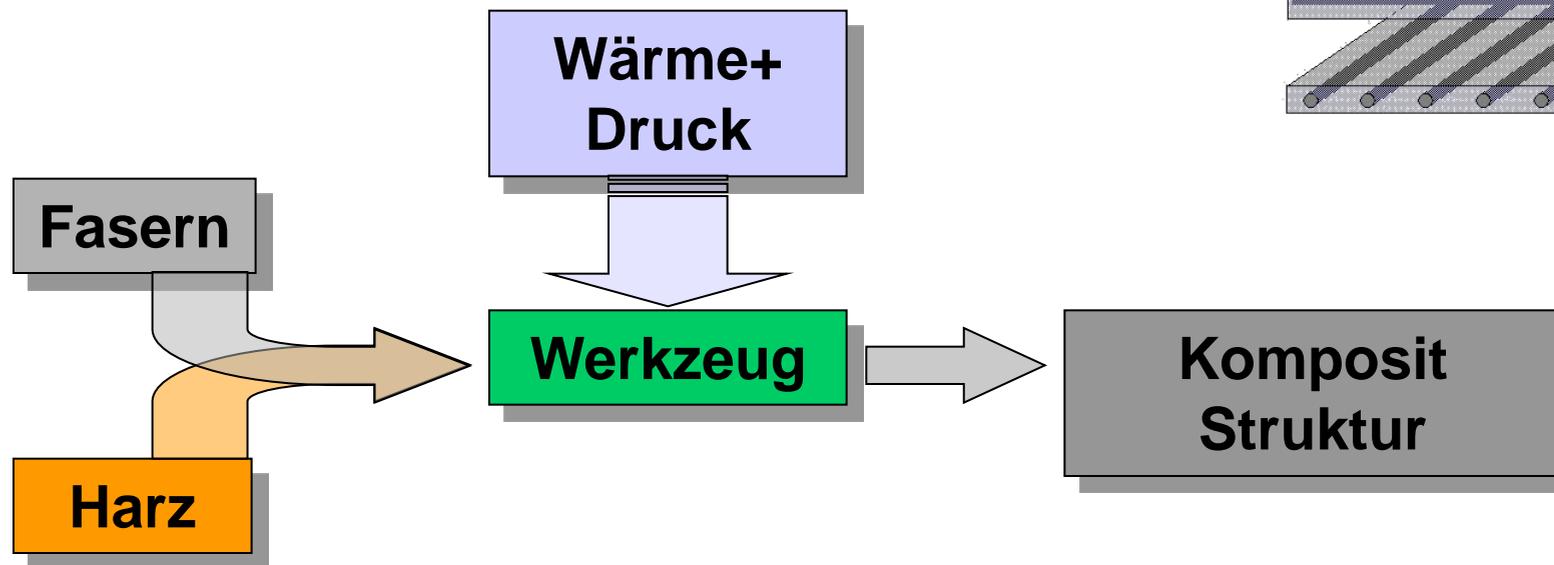
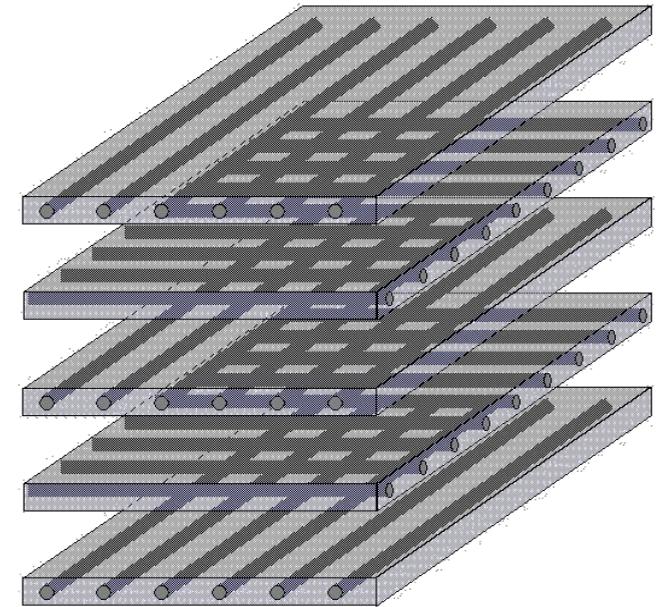


Eigentum von Airbus



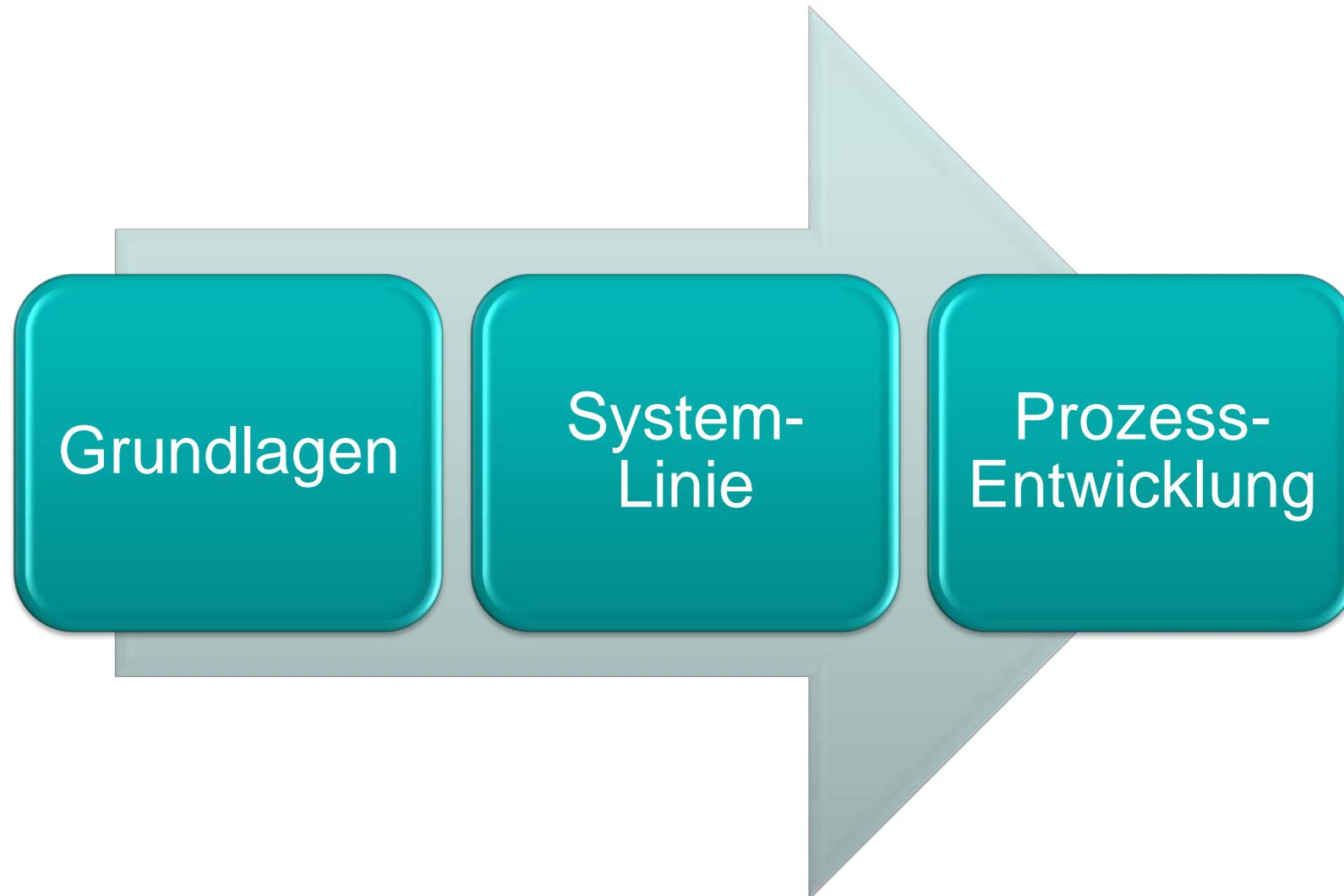
Eigentum von Boeing

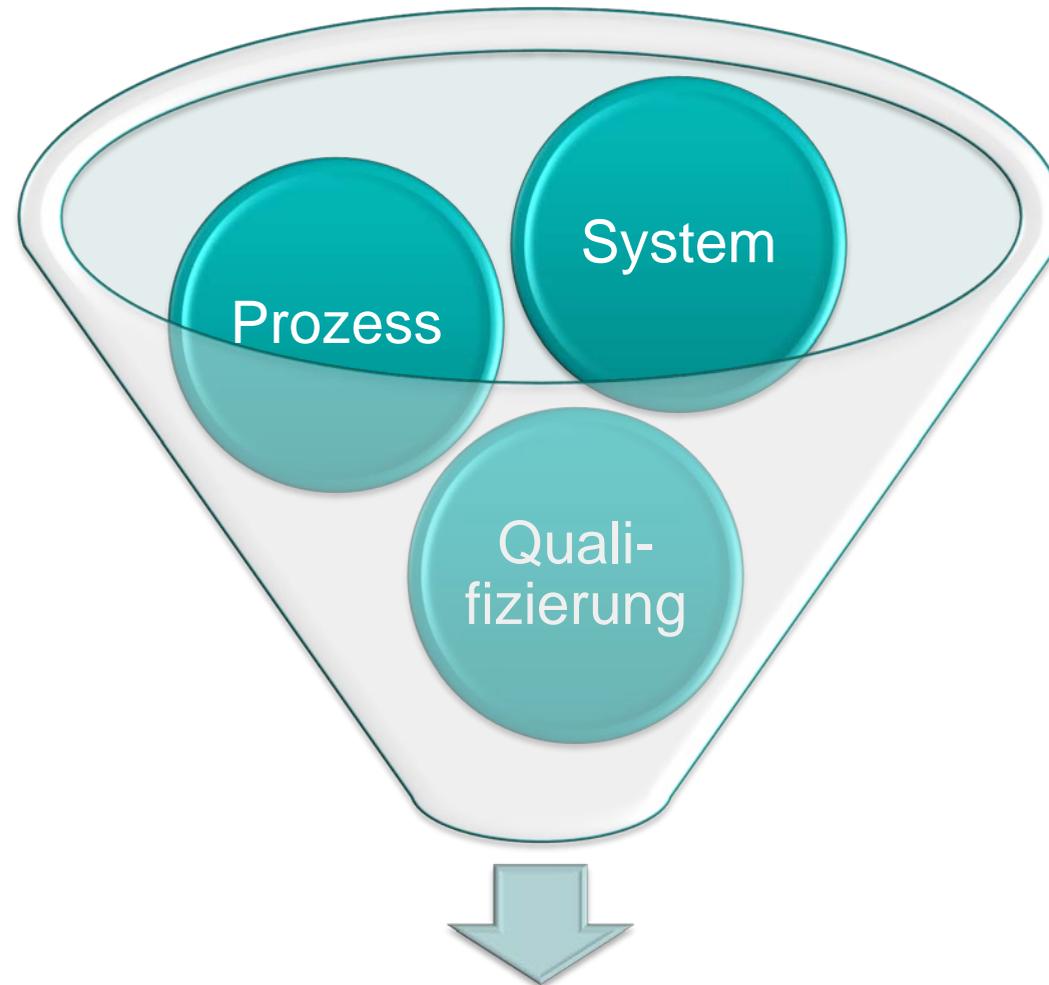
- Fasern (z.B. Kohlenstoff) + Matrix (z.B. Epoxidharz)
- Orthotrope mechanische Eigenschaften
- Schichten mit individueller Orientierung gestapelt
→ mechanische Eigenschaften des Laminates können eingestellt werden
- Prozessierung:



- Polymerisation erfordert Aktivierungsenergie in Form von Wärme (typischerweise 180°C)
- Druck zum Kompaktifizieren und zur Kompression von Fehlstellen
- Nachteile:
 - Langsamer Prozess
 - Hoher Energieverbrauch
 - Hohe System Trägheit
 - Hohe Installations- und Anlagenkosten







Industrielle Fabrikation



Wird erreicht in den Bereichen

- Energieerzeugung
- Energieumwandlung (Konversion)
- Energieverteilung

Wichtig:

- Ganzheitliche Betrachtung der Wertschöpfungskette
- Intensiver Konzeptionierungs- und Planungsprozess
- Analyse von Gebäuden und Anlagen
- Schulung von (Betriebs-)personal



Vorteile der Mikrowellen - Materialprozeßtechnik

Volumetrisches Aufheizen von Materialien

Einsparung von Energiekosten - Energieeffizienz

Trägheitslose, instantane Steuer- und Regelbarkeit

Reduzierung der Verarbeitungszeiten (bis Faktor 10)

Qualitätsverbesserung der Produkte

Herstellung neuer Materialien

Verwendung mikrowellen-selektiver Additive

Generische Nutzung von Quantenphänomenen (Plasmen, Nanopartikel, Chemische Additive)



Mikrowellen

300 MHz (UHF) – 300 GHz (Millimeterwellen):

UHF: (ultra high frequencies)	300...3000 MHz	$\lambda_0 = 1...0.1m$ (Dezimeterwellen)
SHF: (super high frequencies)	3...30 GHz	$\lambda_0 = 10...1cm$ (Zentimeterwellen)
EHF: (extremely high frequencies)	30-300 GHz	$\lambda_0 = 10...1mm$ (Millimeterwellen)

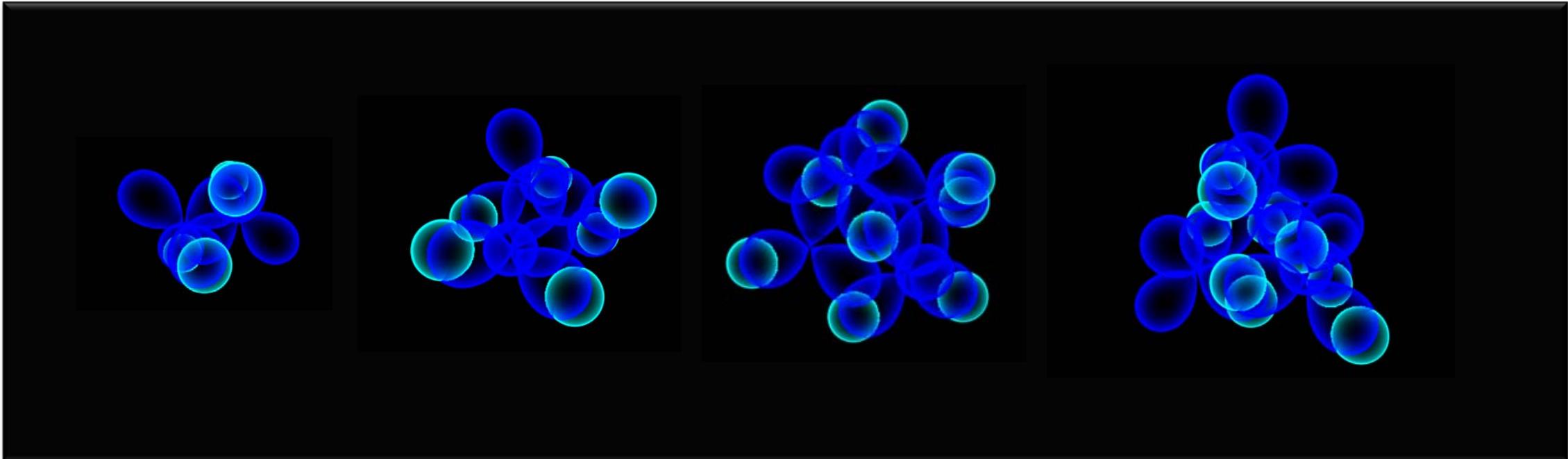


Mikrowellentechnik: Starke Verbindung zur Quantenebene

Die effektive Mikrowellen-Leitfähigkeit eines beliebigen Materials geht aus einer Verflechtung quantischer und klassischer Anteile hervor, woraus eine im Allgemeinen nichtlineare Konversion von Wirkungssträngen gebildet wird.



Quantentheorie: Wasser besteht aus nanoskaligen Quantendroplets



n=2

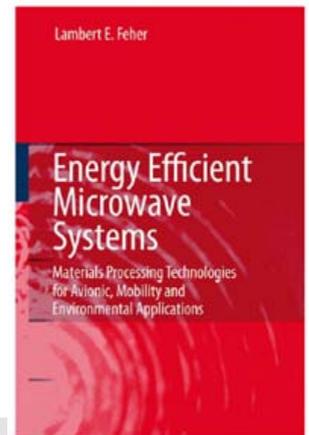
n=3

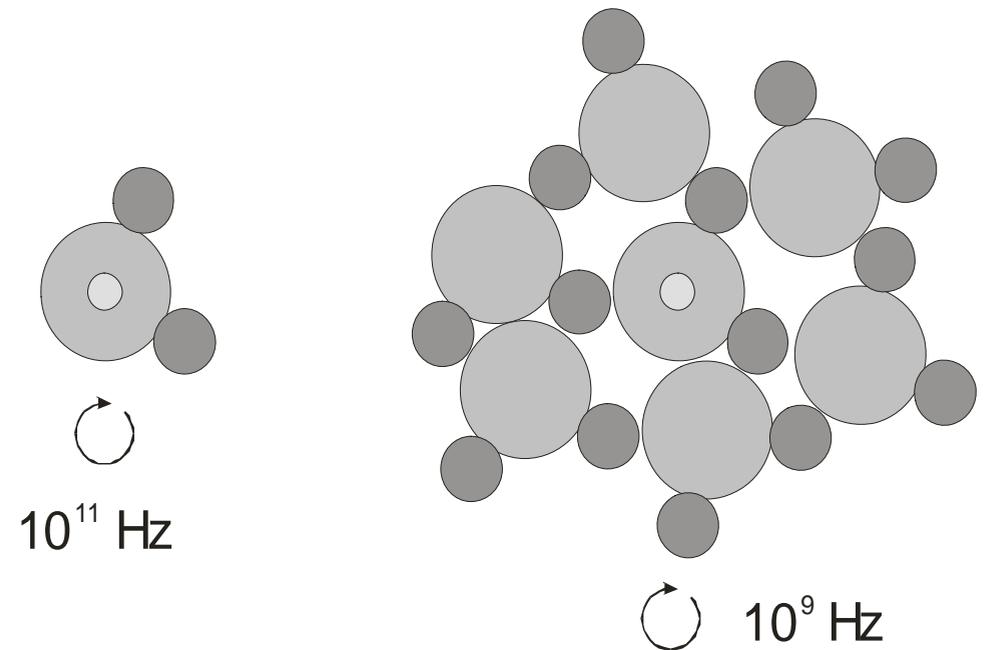
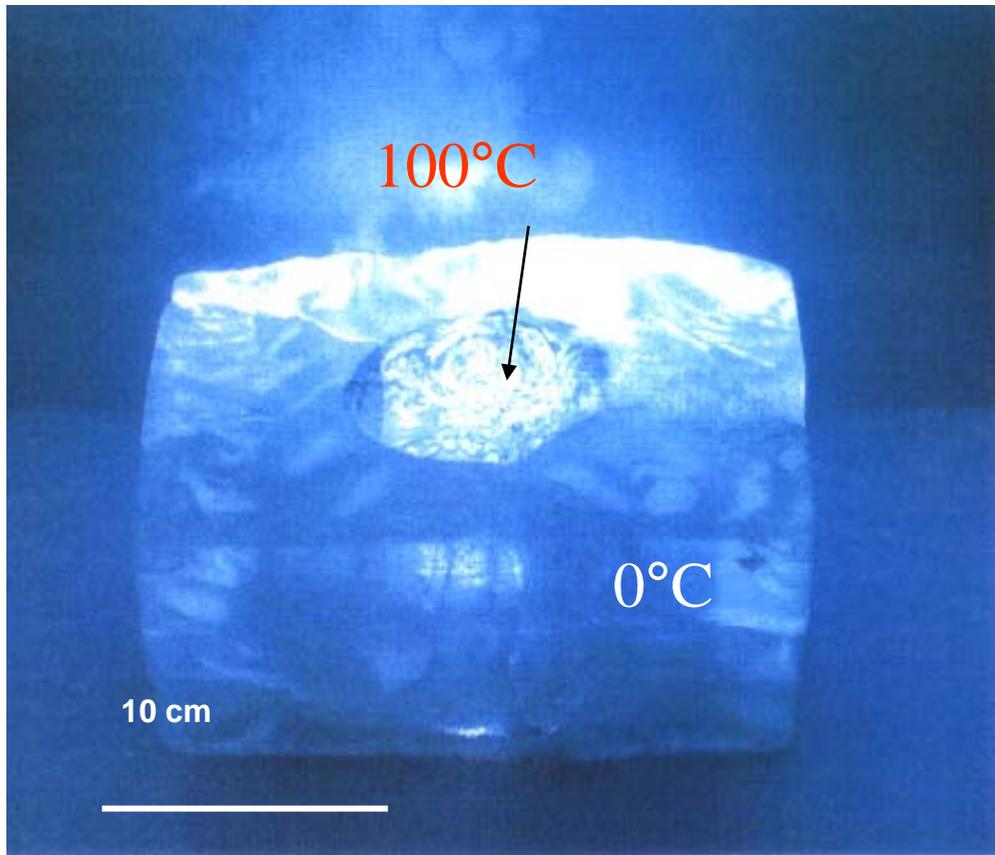
n=4

n=5
instabil

Das Mikrowellenspektrum von Wasser kann auf diesem Weg vollständig erklärt werden. Dies bedeutet das Wasser in molekularen Dimensionen **feinststrukturiert** ist.

„Massivere Quantendroplets“





Selektive Mikrowellen Erwärmung

Der Quanten-Wirbelsturm im Wassertropfen erzeugt einen „Quantenbohrer“



Aufbau des HEPHAISTOS CA2 (2005)





HEPHAISTOS-CA1

HEPHAISTOS-CA3

HEPHAISTOS-CA2



HEPAISTOS-Systemlinie bei Vötsch Industrietechnik erhältlich



Warum Prozessierung von CFK mit Mikrowellen?

Zur Verkürzung der Zykluszeiten, höhere Heizraten, Automatisierung

Energieeffizienz, drastische Energieeinsparung

Neue Autoklav-freie Methoden und Prozesse

Zur Reduktion der System- und Gesamtkosten für die CFK Herstellung

Verbesserte Materialqualität – neue Materialien
Weniger Fehlstellen – Große Strukturen



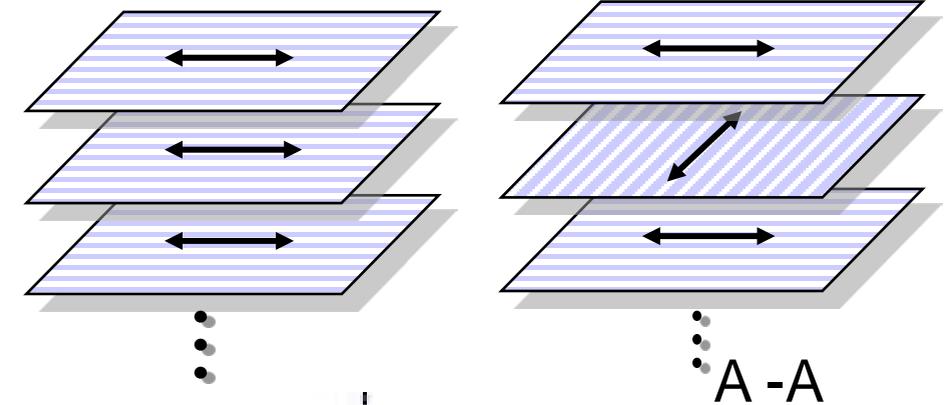


- Autoklav: Gesamter Ofen erwärmt Struktur
- Mikrowelle: Lokale Erwärmung der Struktur



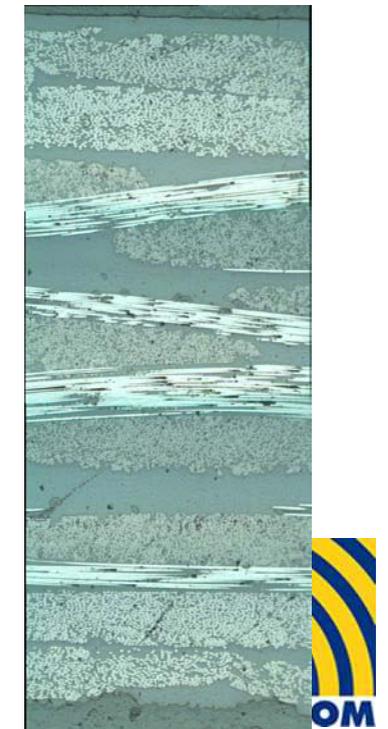
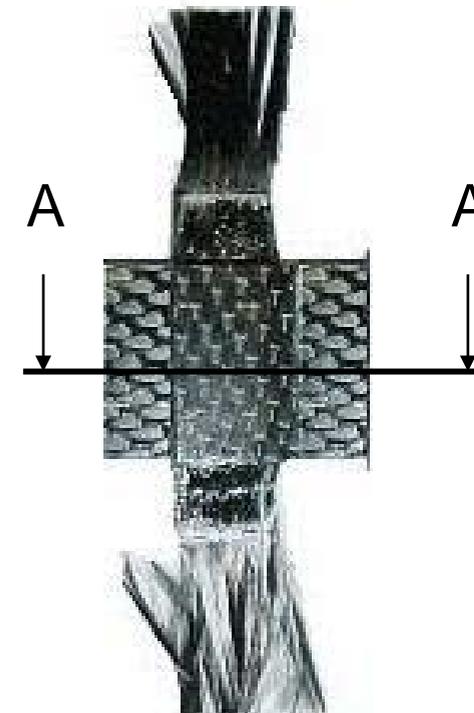
- Komposit Material: Ein Stapel Kohlenstofffasergewebe wird in einem Polymer eingebettet und ausgehärtet

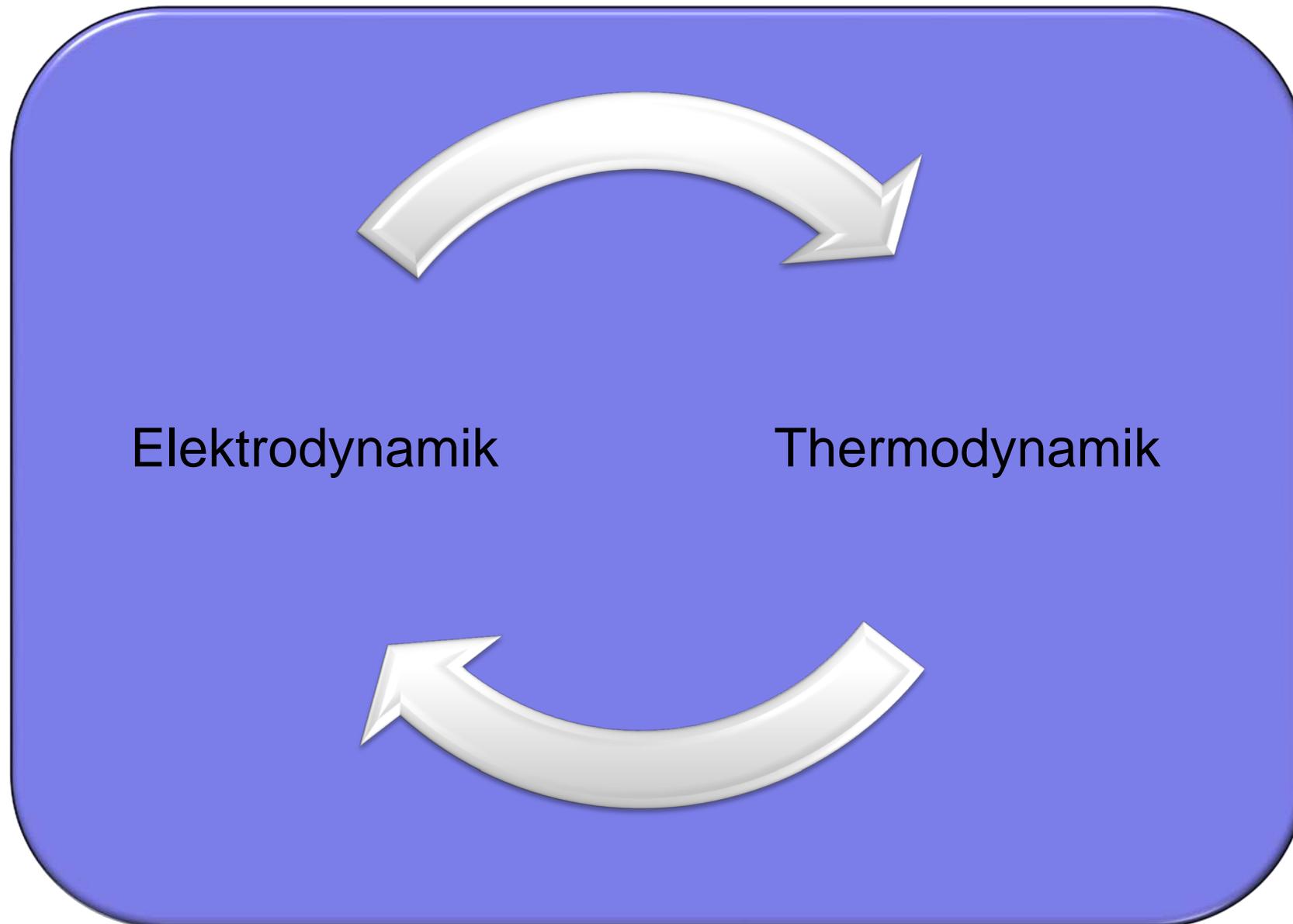
UD Faser Orientierung MD Faser Orientierung



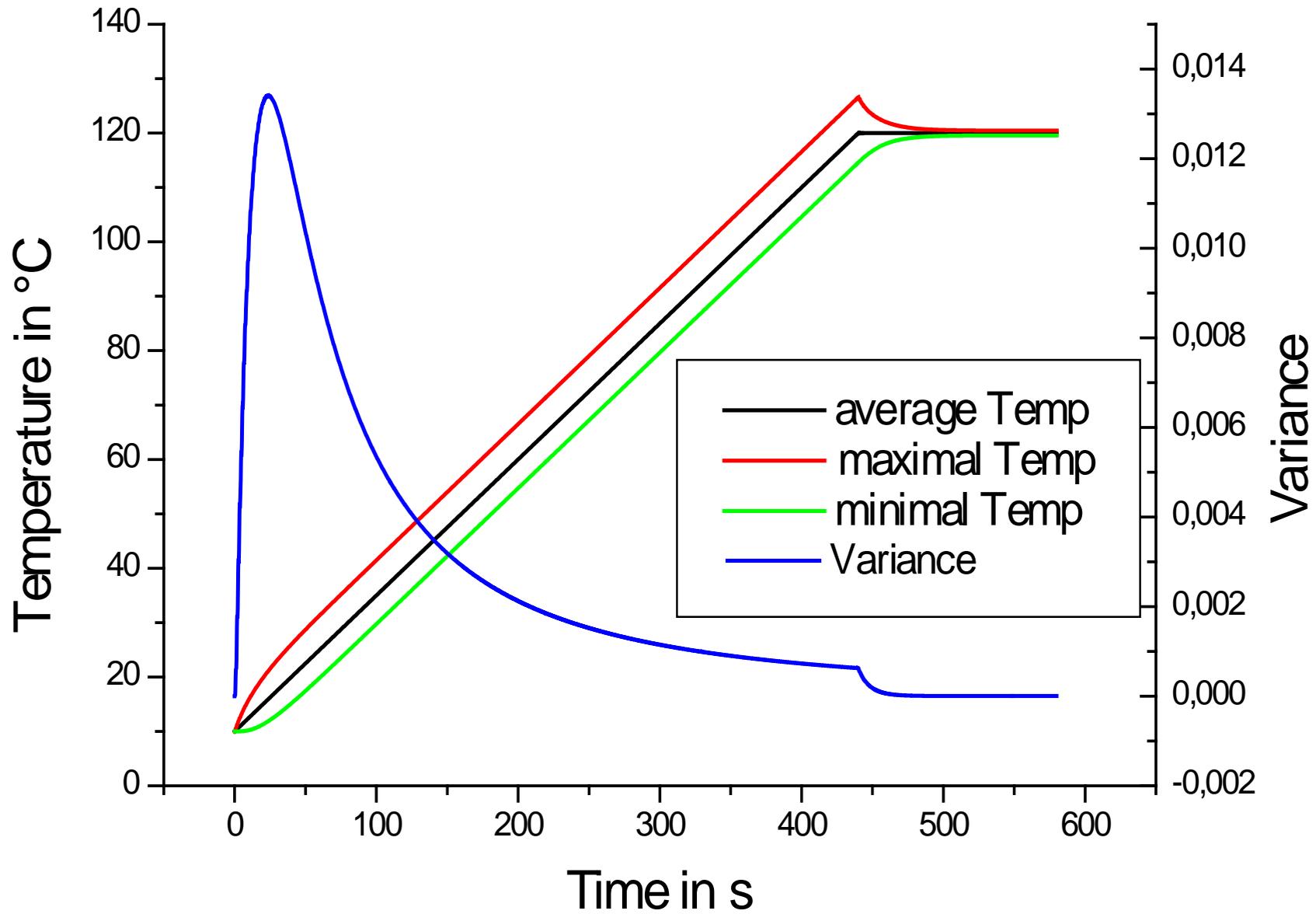
Die Herausforderung beim Mikrowellenhärten:

- Kohlenstofffasern sind elektrisch leitend
- Exotherme Polymerisationsreaktion des Epoxidharzes



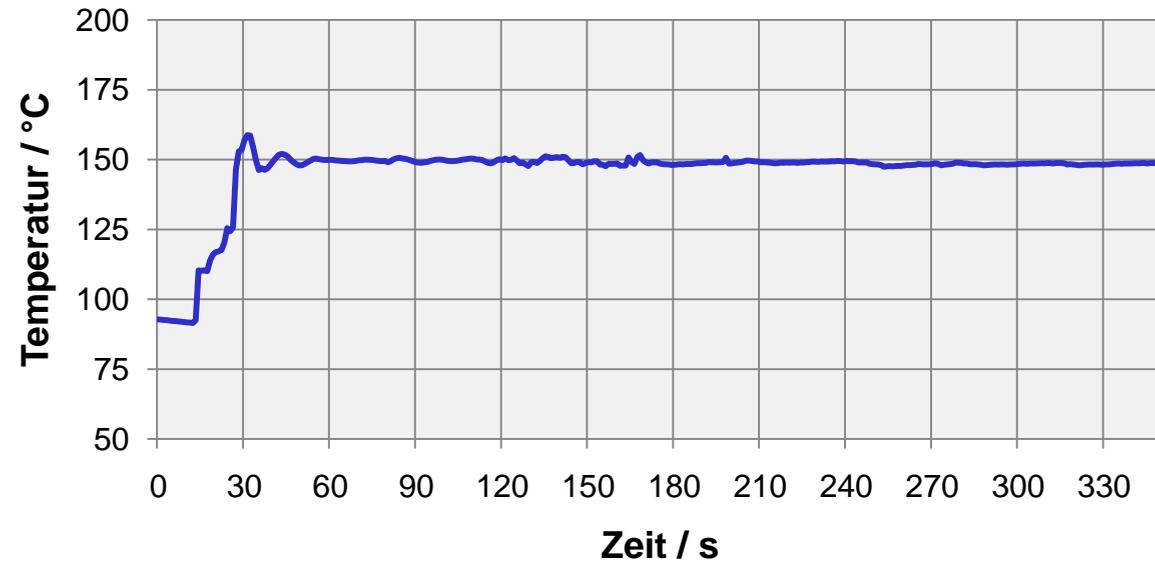


Prozesssimulation mit dem THESIS3D-Code (MD-Material)





Harztemperatur am Injektorausgang



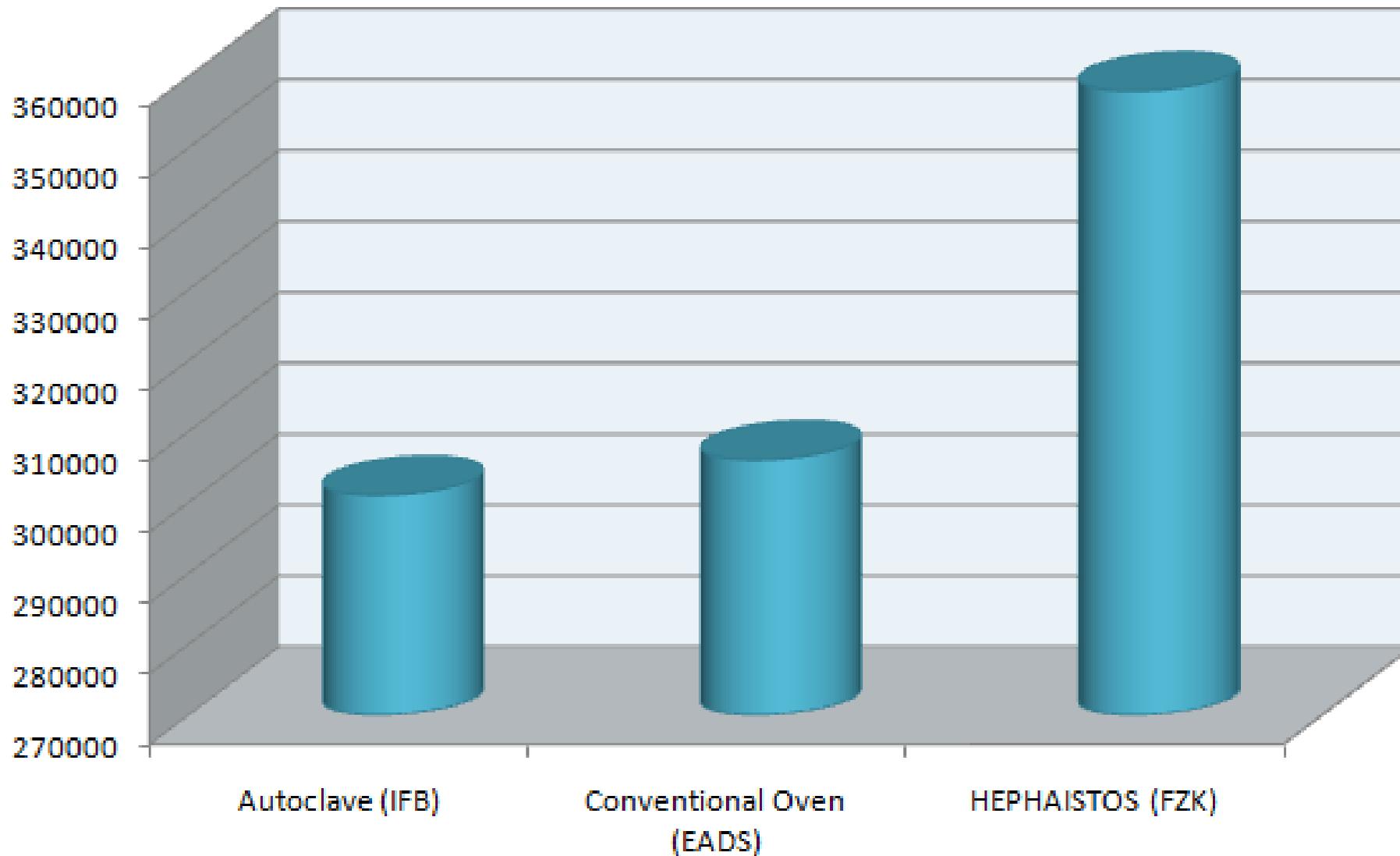
— Durchfluss 350 cm³/min

- MW-Injektor ermöglicht eine sehr schnelle und präzise Erwärmung des Harzes
- Schnelle Regelung der MW-Leistung sichert eine konstante Harztemperatur unabhängig von der Flussrate

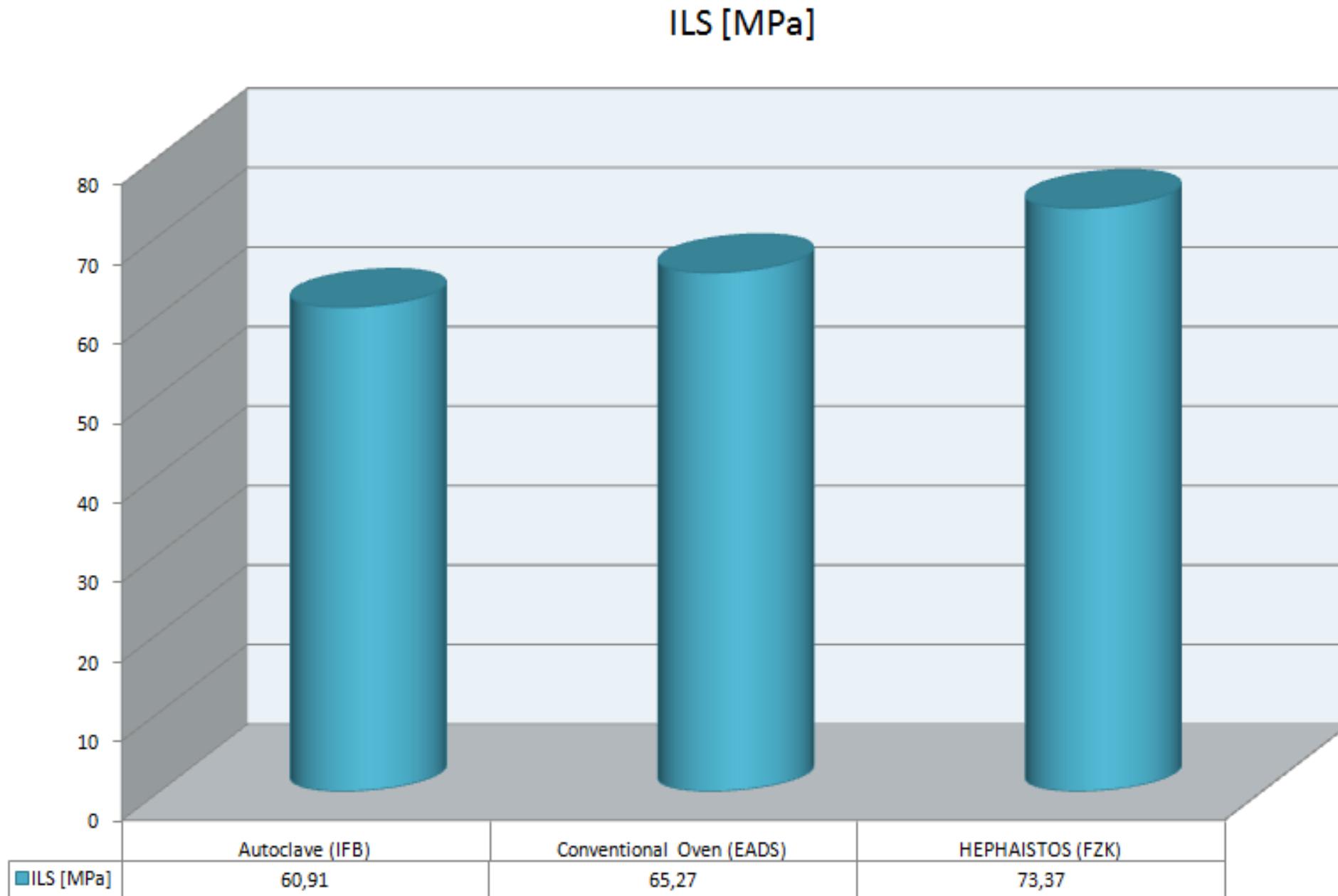


Celanese Druck Tests – Materialverbesserungen

Pressure Tests [MPa]

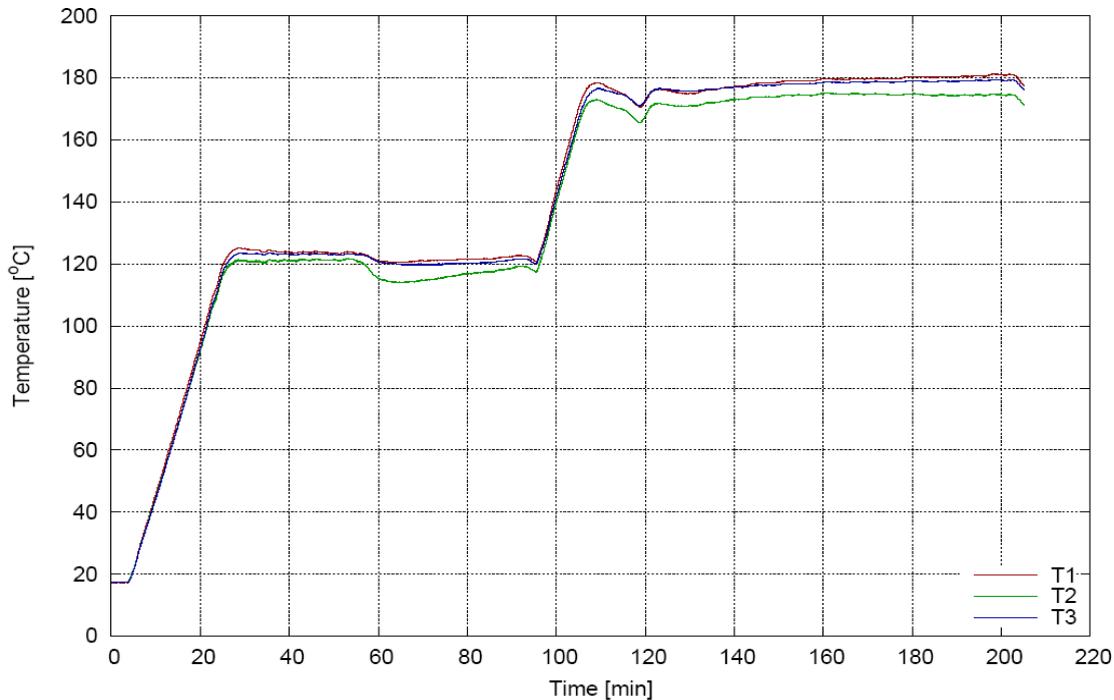


Interlaminare Scherfestigkeit – Materialverbesserungen



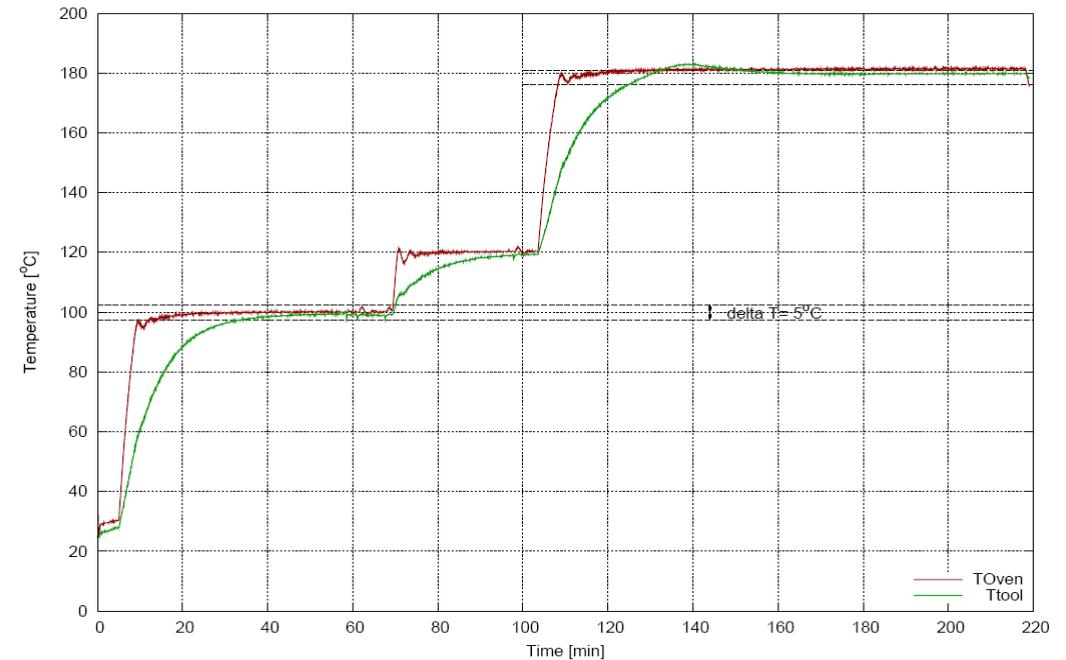
Vergleich eines VAP Prozesses im HEPHAISTOS und eines VAP Prozesses in einem thermischen Ofen

VAP in the microwave oven on the aluminum tool



Mikrowellen Aushärtung

VAP Im Umluftofen auf Alu Platte

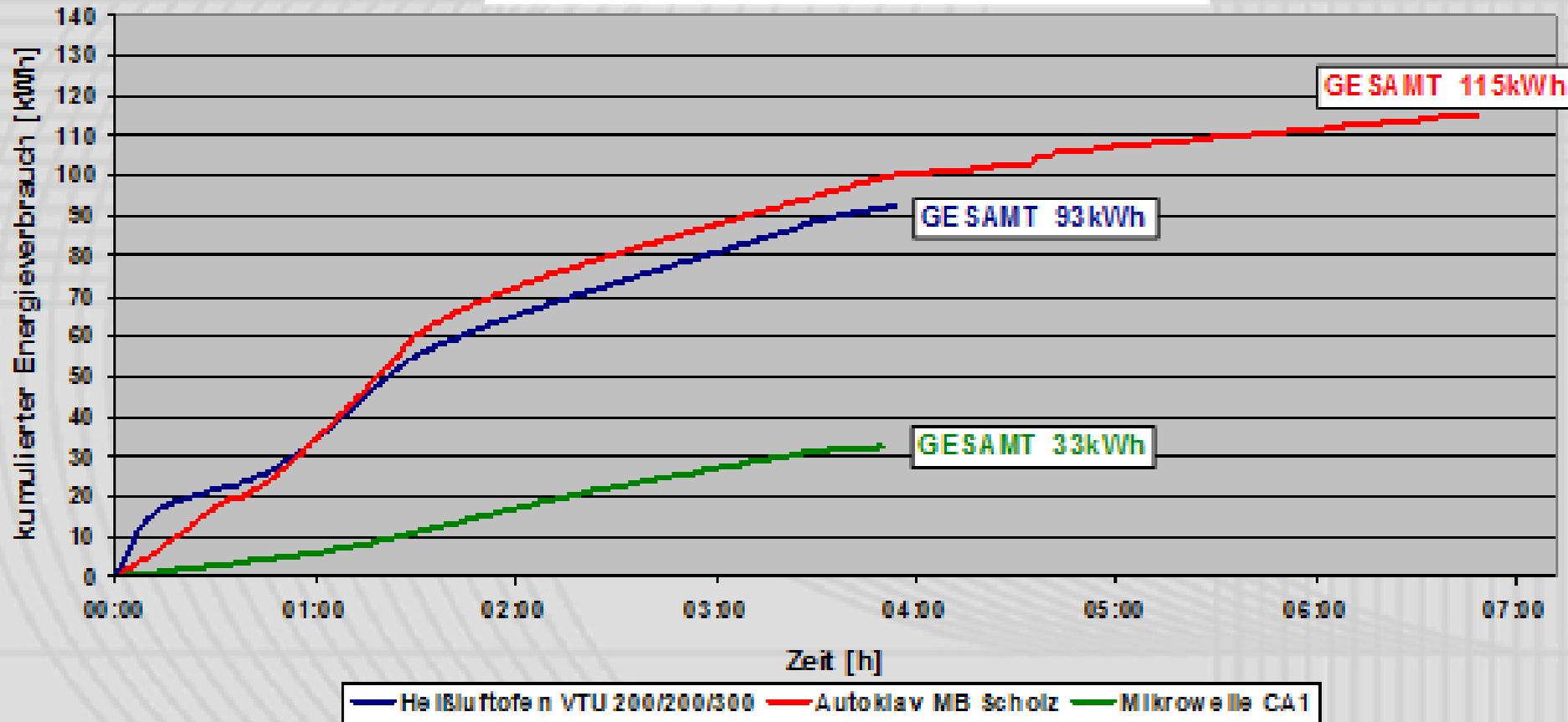


Thermischer Ofen

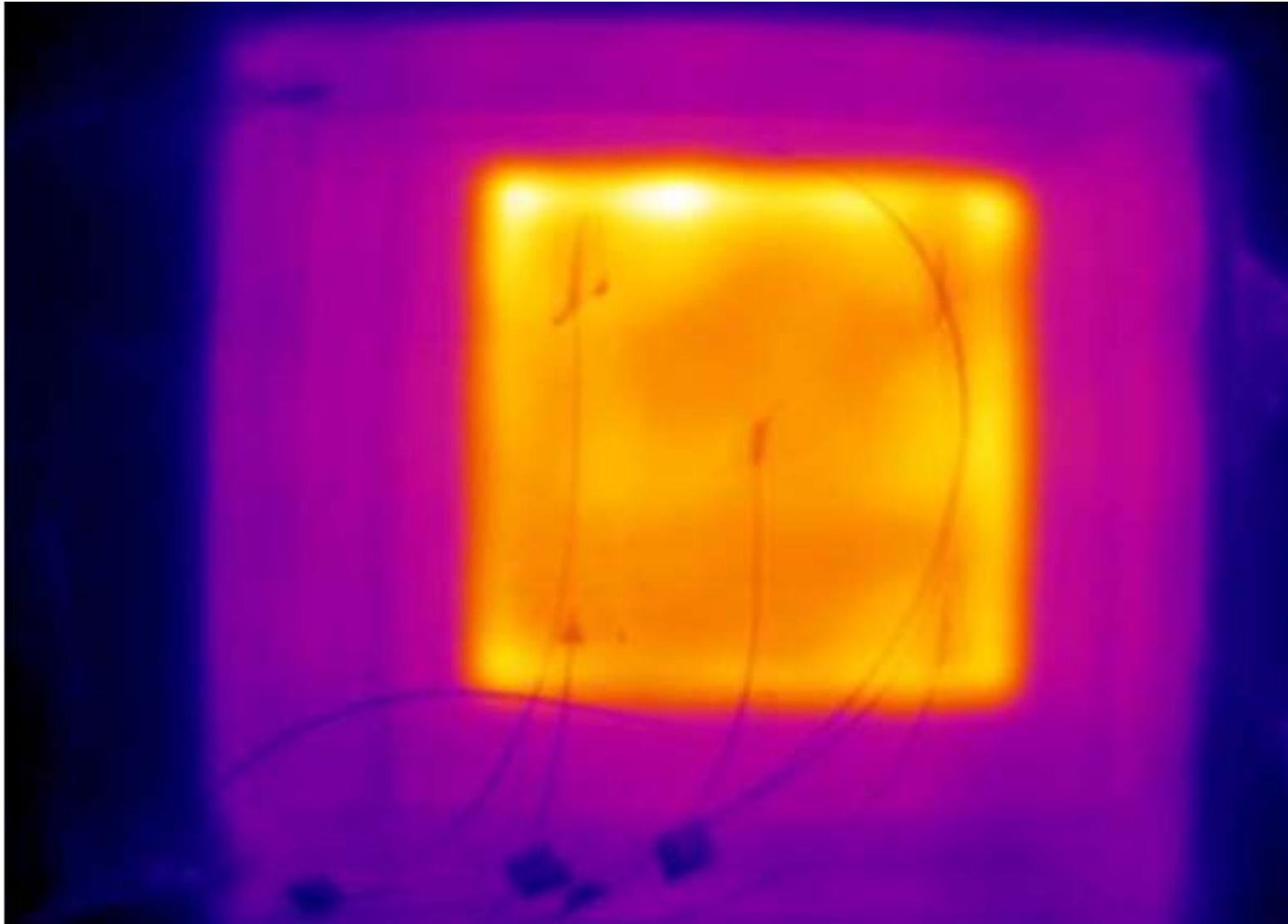


Anlagenspezifischer Energieverbrauch pro Aushärtezyklus [kWh]

CFK Platte gekrümmt (700mm x 330mm x 4mm); m = 1,5kg



Übertragung der Technologien auf Glasfaserstrukturen „Schwarze Glasfasern“



Mit Hilfe der HEPHAISTOS-Technologie können große und dicke GFK-Strukturen ausgehärtet werden durch neue nanomodifizierte Harzsysteme



Zusammenfassung

- Feld-u. Temperatur Homogenität
- System-Entwicklung
- CFK-Prozessierung
- Materialverbesserungen
- Quantenwirkung Mikrowelle – Material
- Energieeffizienz

Ausblicke in andere Anwendungen



C. Zöller (E-Technik), Dr.Stanculovic (Systeme), V. Nuss (HEC), Dr.Feher, T.Seitz (Mechanik), S.Layer (Mechanik), M. Huber (Sekretariat), J. Dittrich (HEC), neu: Dr.Melcher (Theorie)