

Polymer Engineering

---

Kompetenz in Kunststoff-  
technologie und  
Verbundwerkstoffen







# Impulsgebend für Werkstoff- und Prozessinnovationen

Werkstoff- und Prozessinnovationen sind impulsgebend für die Entwicklung fortschrittlicher Produkte. Langjährige Erfahrungen auf dem Gebiet der Material- und Verfahrensentwicklung machen unser Institut zu einem kompetenten Partner für anwendungsnahe Forschung und Entwicklung in der Kunststoff- und Verbundwerkstofftechnologie – von der Ideen- und Konzeptentwicklung bis hin zur Prototypenfertigung. Unsere Forscherinnen und Forscher aus den Arbeitsgruppen

- Materialentwicklung und Compoundiertechnologien,
- Schäumtechnologien,
- Additive Fertigung,
- Spritzgießen und Fließpressen,
- Strukturleichtbau,
- Mikrowellen- und Plasmatechnologie,
- Materialcharakterisierung und Schadensanalyse

entwickeln Werkstoffe, Prozesse und Methoden für unsere Kunden aus den Bereichen Automobilbau, Luft- und Raumfahrt, dem Bauwesen ebenso wie aus dem Verpackungs-, Spielwaren- und Freizeitbereich. Neben individuellen Themen aus und entlang der Wertschöpfungskette befassen wir uns auch mit Lösungsansätzen für langfristige gesellschaftliche Herausforderungen, im Besonderen für nachhaltige Mobilität, der Circular Economy, des hybriden Leichtbaus sowie der Digitalisierung von Prozessketten.

## Vernetzung

Unsere Forschungskompetenz stärken wir durch die Fraunhofer-interne Vernetzung in Themenverbänden und Innovationsclustern sowie durch die enge wissenschaftliche Zusammenarbeit mit dem Karlsruher Institut für Technologie KIT – unter anderem in der Karlsruher Forschungsfabrik für KI-integrierte Produktion.

Mit unseren beiden Fraunhofer Innovation Platforms for Composite Research in Kanada und Südkorea bieten wir unseren Kunden ein internationales Forschungs- und Entwicklungsumfeld. Exzellente Kontakte im nationalen und internationalen Umfeld ermöglichen die Lösung komplexer, interdisziplinärer Fragestellungen und die Adressierung unterschiedlicher Märkte und deren Anforderungen.

## Kooperationsmöglichkeiten

Vorwettbewerbliche Entwicklungsaufgaben bearbeiten wir vorwiegend zusammen mit unseren Kooperationspartnern in nationalen oder internationalen Verbundprojekten. Individuelle Lösungen erarbeiten wir meist in direkter bilateraler Kooperation mit unseren Kunden auf Auftragsbasis.

## Kontakt

Prof. Dr. Frank Henning  
Tel. +49 721 4640-420  
frank.henning@  
ict.fraunhofer.de

Dr. Jan Diemert  
Tel. +49 721 4640-433  
jan.diemert@  
ict.fraunhofer.de

Dr. Tobias Joppich  
Tel. +49 721 4640-473  
tobias.joppich@  
ict.fraunhofer.de

# Unsere Leitthemen

## Was uns bewegt...

### Nachhaltigkeit



Effizientes Recycling und optimierte Wertstoffkreisläufe sind zu einem zentralen Thema für die globale wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung geworden. Bei der Entwicklung neuer Prozessketten ist die Schließung von Wertstoffkreisläufen ein elementarer Bestandteil. Beispielsweise entwickeln wir verbesserte Werkstoffformulierungen auf der Basis von Sekundärrohstoffen, biobasierte und recyclingfähige Materialsysteme, energieeffiziente Verarbeitungsverfahren oder auch biobasierte, eigenverstärkte Compositematerialien.

### Flexible Fertigungstechnologien



Die industrielle Fertigung erfordert zunehmende Flexibilität vor dem Hintergrund der Produktindividualisierung. Eine ökonomische Umsetzbarkeit wird erst durch verkürzte Entwicklungs- und Produktionszeiten, höhere Produktionsagilität sowie den effizienten Ressourceneinsatz ermöglicht. Diesen Herausforderungen stellen wir uns in der Entwicklung modularer und wandelbarer Fertigungstechnologien und Prozessketten sowie in der Weiterentwicklung der Additiven Fertigung.

### Künstliche Intelligenz



Die Nutzung von Methoden der künstlichen Intelligenz zur Optimierung von Produkten, Prozessen und Werkstoffen ist ein Ziel der Digitalisierung. Vor dem Hintergrund unserer Kernkompetenzen in der Kunststoff- und der Verbundwerkstofftechnologie nutzen wir Methoden des maschinellen Lernens und der prozessbegleitenden Simulation zur Befähigung neuer und Optimierung existierender Prozesse. Die Entwicklung digitaler Zwillinge von Kunststoffverarbeitungsprozessen und Materialien und deren Verkettung zu einer virtuellen Produktion stellen aktuelle Forschungsschwerpunkte dar.

### Leichtbau



Durch Leichtbau werden Ressourcen, Energie und das Klima geschont. Die branchenspezifische Bauweise und Konstruktion von Leichtbaulösungen bestimmt den Auswahlprozess geeigneter Werkstoffe und legt das Herstellungsverfahren fest. Am Fraunhofer ICT entwickeln wir polymerbasierte Faserverbundwerkstoffe und effiziente Prozessketten zu deren Herstellung. Zentrale Forschungsthemen sind lang- und endlosfaserverstärkte Kunststoffe mit duromerer und thermoplastischer Matrix und deren Funktionalisierung. Im Hinblick auf Rezyklierbarkeit stehen in diesem Bereich auch selbstverstärkende Kunststoffe – sogenannte Monomaterialsysteme – im Forschungsfokus. In enger Vernetzung mit dem KIT wird die Methoden-, Prozess- und Werkstoffentwicklung vorangetrieben.

### Werkstoffinnovation



Moderne Werkstoffe müssen neben strukturellen auch funktionalen Anforderungen genügen. Für ihre zielgerichtete Entwicklung bedarf es eines tiefgreifenden Verständnisses des Werkstoffverhaltens sowie viel Erfahrung in der Werkstoffformulierung. Gegenstand aktueller Forschungsarbeiten sind funktionale Materialien, die neben ihren strukturellen Eigenschaften Funktionalitäten wie zum Beispiel elektrische oder thermische Leitfähigkeit, verbesserte akustische Eigenschaften, Kratzfestigkeit oder antibakterielle Eigenschaften aufweisen. Programmierbare Materialien zeigen eine gezielte Reaktion auf veränderte Umweltbedingungen oder Belastungen. Aspekte der Nachhaltigkeit entlang der Wertschöpfungskette haben hohe Priorität. Hierzu forschen wir an biobasierten Werkstoffsystemen, Materialformulierungen auf der Basis von Recyclingwerkstoffen und neuartigen Recyclingkonzepten.



# Materialentwicklung und Compoundiertechnologien

Die Gruppe Materialentwicklung und Compoundiertechnologien verfügt über eine langjährige Expertise in der Entwicklung von Rezepturen für thermoplastische Kunststoffcompounds und der Entwicklung innovativer Compoundierprozesse.

## Materialentwicklung – maßgeschneiderte Rezepturen

Bei der Herstellung von hochwertigen Produkten aus Kunststoffen ist die Auswahl der richtigen Zutaten sowie die optimale Auslegung der Verarbeitungsprozesse entscheidend. Basierend auf langjähriger Erfahrung und neusten wissenschaftlichen Erkenntnissen entwickeln wir zusammen mit unseren Partnern Materialformulierungen. Je nach gewünschtem Eigenschaftsprofil ist das Einarbeiten von Pulvern, Granulaten, Fasern sowie die Dosierung von niedrig- bis hochviskosen Flüssigkeiten oder Gasen – diese auch im überkritischen Zustand – möglich.

Durch die Zugabe von funktionalen Füllstoffen und Additiven können die Eigenschaften von Kunststoffcompounds gezielt beeinflusst werden. Stabilisatoren beispielsweise ermöglichen oft erst die Herstellung und Verarbeitung von Compounds im Extrusionsprozess ohne Materialschädigung. Verstärkungsfasern sorgen für die benötigten mechanischen Eigenschaften des Bauteils.

## Prozessentwicklung – kontinuierliche Mischprozesse

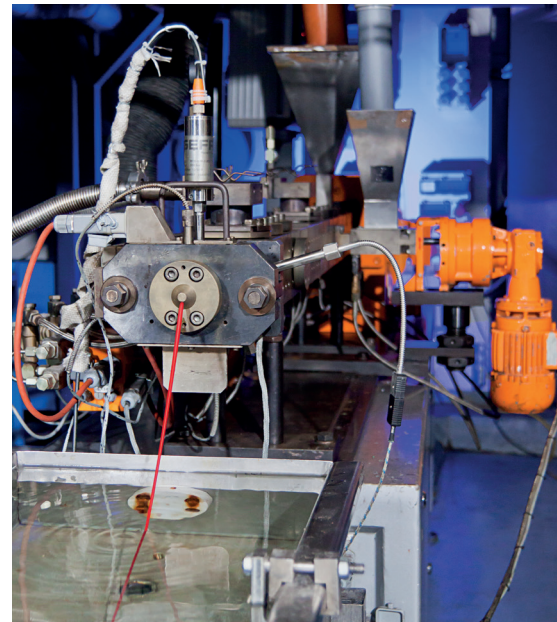
Die Prozessentwicklung beinhaltet alle Aufgabenstellungen von der Optimierung einer Schneckenkonfiguration bis hin zur Entwicklung materialspezifischer Extruderkonfigurationen inklusive der notwendigen Dosier- und Granulierstrategien. Neben optimierten klassischen Compoundierprozessen entwickeln wir

auch völlig neue Prozessvarianten für Doppelschneckenextruder. Beispiele hierfür sind unter anderem extraktive Compoundierprozesse oder Reaktivextrusionsprozesse.

## Unsere Expertise in der Material- und Prozessentwicklung

- allgemeine Compoundieraufgaben
- Biopolymere und naturfaserverstärkte Polymere
- Wiederaufbereitung/Re-Formulierung von Rezyklaten
- Aufreinigung/Geruchsreduzierung/Emissionsreduzierung
- funktionale Compounds
- neue Materialien für Additive-Manufacturing-Methoden
- Polymerisation und Polymer-Modifikation durch reaktive Extrusion
- Online-Prozesskontrolle
- sicherer Umgang mit reaktiven Materialien und Nanomaterialien in der Extrusion

Das Fraunhofer ICT verfügt über ein umfangreiches und flexibles Extrusionstechnikum. Extruder verschiedener Durchmesser und Verfahrenslängen ermöglichen die Darstellung unterschiedlichster Verfahrensabläufe. Alternative Energien wie Mikrowellenheizung und Ultraschalleinkopplung oder die Verwendung überkritischer Fluide in der Compoundiertechnik erweitern das darstellbare Prozessfenster deutlich. Ein umfangreiches Portfolio verschiedenster Dosier- und Granulierttechnologien ermöglicht die Darstellung komplexer Prozesse.



*Compoundieranlage zur Herstellung von funktionalen Polymer-Compounds.*



*Poly lactid-Granulat, Ausgangsmaterial zur Herstellung von Monomaterialsystemen.*

## Kontakt

Dr. Kevin Moser  
Tel. +49 721 4640-533  
kevin.moser@ict.fraunhofer.de



# Schäumtechnologien



Partikelschaumlinie zur kontinuierlichen Herstellung von Partikelschäumen.

Geschäumte Bauteile werden zunehmend als Transportverpackungen, zur Wärmedämmung von Gebäuden sowie verstärkt im Automobilsektor verwendet. Ziel in der Entwicklung neuer geschäumter Materialien ist es, mechanische Eigenschaften und Temperaturbeständigkeit oder auch Rezyklierbarkeit zu optimieren.

## Werkstoffentwicklung für thermoplastische Schäume

In den Blickpunkt der Werkstoffentwicklung rücken zunehmend Schaumstoffe mit maßgeschneiderten Eigenschaften. Aktuelle Themen hierbei sind die Entwicklung schäumbarer Polymere im Extrusionsverfahren auf Basis nachwachsender oder rezyklierter Rohstoffe sowie der gezielte Einsatz von

Funktionszusatzstoffen beispielsweise zur Verbesserung der mechanischen oder thermischen Eigenschaften oder auch zur Erzielung eines umweltfreundlichen Flammenschutzes. Weitere Trends sind die Entwicklung von Hochleistungsschäumen aus technischen Polymeren sowie die Hybridisierung von Schäumen zum Beispiel in Sandwichprozessen.

## Verfahrens- und Materialentwicklung Extrusionsschaum

Für die Entwicklung extrusionsgeschäumter Halbzeuge, Platten und Folien steht am Fraunhofer ICT eine hochmoderne Schaumtandem-Laboranlage, bestehend aus Doppelschnecken- und Einschneckenextruder zur Verfügung. Diese Anlage ermöglicht es neue Material- und Treibmittelrezepte bei begrenztem Materialeinsatz in Schaumextrusionsprozessen zu erproben und gezielt

weiterzuentwickeln. In die Entwicklungsarbeit bringen wir unser umfangreiches Material- und Verfahrens-Know-how im Bereich Schaumextrusion ein.

## Verfahrens- und Materialentwicklung Partikelschaum

Das Fraunhofer ICT bietet im Bereich der Partikelschaumtechnologie unter anderem folgende Entwicklungsdienstleistungen und Kompetenzen an:

- Die Materialentwicklung und Optimierung der Schaumstruktur im Extrusions- und Autoklavprozess,
- die Entwicklung aufgeschäumter oder treibmittelbeladener Granulate mittels Extrusionsprozess und nachgeschalteter Unterwasser-Granulierung,
- Untersuchungen zum Aufschäumen von Granulaten zu Schaumstoffpartikeln im Laborvorschäumer,
- Untersuchungen zur Verarbeitung im Formteilautomaten (dampf- und radiofrequenzbasiert)
- Prüfung der Schaumeigenschaften im eigenen Prüflabor.

Diese komplette Prozesskette bildet die Basis für die erfolgreiche Zusammenarbeit mit unseren Partnern. Neue Materialmischungen können innerhalb kürzester Zeit auf ihre Verarbeitbarkeit und ihre Bauteileigenschaften wie beispielsweise deren Isolationseigenschaften untersucht werden.

Materialentwicklung für innovative Partikelschaum-Bauteile.



## Kontakt

Christoph Mack  
Tel. +49 721 4640-721  
christoph.mack@ict.fraunhofer.de



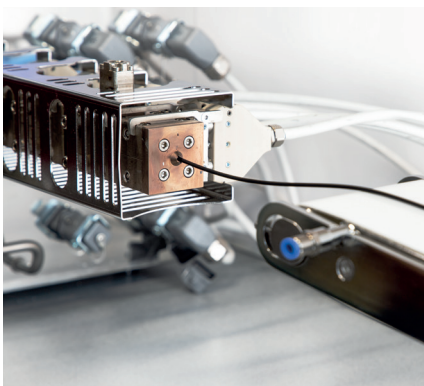
# Additive Fertigung

Die Entwicklung von neuen Materialien und Verarbeitungstechnologien ist der thematische Schwerpunkt der Gruppe Additive Fertigung. Um das große Potenzial in Bezug auf Gestaltungsfreiheit, Produktionsflexibilität und Produktindividualisierung additiver Fertigungsverfahren für industrielle Anwendungen zu nutzen, erforschen wir neue Materialoptionen und Kombinationsmöglichkeiten verschiedener Materialien sowie die Einflüsse von Druckstrategie und Druckparametern auf die endgültigen Bauteileigenschaften.

## Materialentwicklung und -funktionalisierung

Experten wählen, je nach Anwendung, thermoplastische Matrizen und geeignete (funktionale) Füllstoffe aus. Generell kann jeder handelsübliche Kunststoff als Matrixmaterial für die extrusionsbasierte additive Fertigung verwendet werden. Biobasierte und biologisch abbaubare Polymere (zum Beispiel PLA, PHB) werden hergestellt, modifiziert und für die Prozesse optimiert. Hochleistungsthermoplaste (zum Beispiel PEEK, PPS, PPSU), die mit Kurzfasern aus Glas oder Kohlenstoff verstärkt sind, eignen sich für anspruchsvolle Anwendungen, bei denen herkömmliche technische Thermoplaste nicht eingesetzt werden können. Metalle oder kohlenstoffbasierte Materialien können als Füllstoffe verwendet werden, zum Beispiel in elektrisch leitfähigen Verbundwerkstoffen.

*Extruder zur Filamentherstellung.*

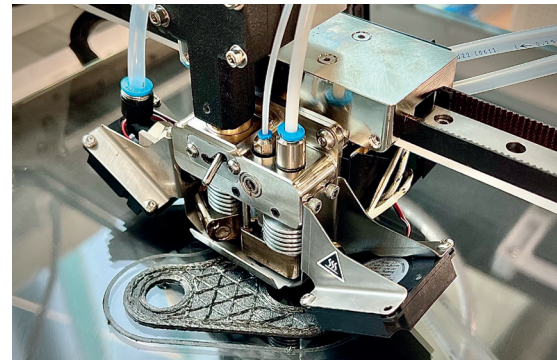


Auch die Verarbeitbarkeit, insbesondere die Schmelzviskosität des Verbundwerkstoffs, spielt eine wichtige Rolle. Die technische Ausstattung für die Materialentwicklung reicht von verschiedenen kleinen Mischern, Knetern und Extrudern bis hin zu Technikumsanlagen, in denen der Verbundwerkstoff zu einem Granulat compoundiert wird. Eine Filament-Extrusionsanlage zur Herstellung von thermoplastischen Filamenten mit Durchmessern von 1,75 mm und 2,85 mm ist ebenfalls verfügbar.

## Prozessentwicklung und Prototypenherstellung

Die angestrebten Eigenschaften der gedruckten Teile hängen von der gesamten Produktionskette ab, von der Compoundierung der Polymere über die Filamentherstellung bis hin zum Druck der Teile. Unsere Spezialisten überwachen die gesamte Produktionskette und optimieren sowohl die Materialzusammensetzung als auch die Produktionsprozesse in technologischer und wirtschaftlicher Hinsicht. Mit unseren hochmodernen Anlagen für die Filamentherstellung und die additive Fertigung können wir das Material und den Prozess auf die Anforderungen unserer Kunden abstimmen.

Durch die Kombination herkömmlicher kurzfaserverstärkter oder unverstärkter Polymere mit Endlosfaserverstärkungen



*Druckprozess eines endlosfaser-verstärkten Bauteils.*

aus Glas- oder Kohlenstofffasern können die mechanischen Eigenschaften additiv gefertigter Teile deutlich verbessert werden. Wir forschen an der Integration von Endlosfasern sowohl im Desktop- als auch im Industriemaßstab, um additiv gefertigte Bauteile für neue Anwendungen zu qualifizieren. Für die Prozessentwicklung in der additiven Fertigung stehen unter anderem die extrusionsbasierten additiven Fertigungsverfahren ARBURG Kunststoff-Freiformen (AKF) mit einem 2-Komponenten-freeformer 200-3X sowie Ein- und Zweikomponenten-Fused Filament Fabrication (FFF) Maschinen zur Verfügung. Darüber hinaus werden begleitende Technologien wie Plasmaprozesse zur Vorbehandlung von bedruckbaren Substraten, Mikrowellenprozesse zur Nachbehandlung von additiv gefertigten Bauteilen sowie die begleitende Charakterisierung von Materialien und Bauteilen durch das Prüflabor bereitgestellt.

## Kontakt

Dr. Robert Maertens  
Tel. +49 721 4640-304  
robert.maertens@ict.fraunhofer.de

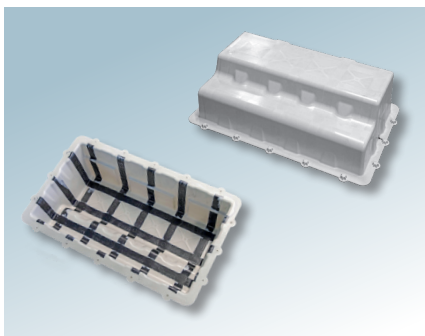


# Spritzgießen und Fließpressen

Die Gruppe Spritzgießen und Fließpressen ist spezialisiert auf die Entwicklung großserientauglicher Prozesse und Verfahren zur Formgebung fließfähiger Materialsysteme. Neben Standard-Spritzgieß- und Fließpressverfahren bilden hierbei vor allem einstufige, ressourcen- und energieeffiziente Direktprozesse sowie maßgeschneiderte lokale Endlosfaserverstärkung und die Funktionalisierung von Monomaterialsystemen einen Schwerpunkt.

## Spritzgießverarbeitung

Mit modernster, großserienfähiger Anlagentechnik werden thermoplastische und duromere Materialsysteme verarbeitet. Die Schwerpunkte liegen auf der Verarbeitung von Hochleistungskunststoffen und Hybridisierungstechnologien sowie dem Thermoplastschaumspritzgießen (TSG). Gemeinsam mit unseren Partnern entwickeln wir Materialzusammensetzungen und Prozesse für geschäumte Bauteile. Hierbei greifen wir sowohl auf chemische als auch auf physikalische (Mucell®) Treibmittel zurück. Duromere Kunststoffe und Hochleistungsthermoplaste besitzen gegenüber Standardthermoplasten Vorteile hinsichtlich ihrer Medien- und Temperaturbeständigkeit, was sie zu attraktiven Werkstoffen für anspruchsvolle Anwendungen macht. Dies ermöglicht beispielsweise eine Substitution von Aluminium-Druckguss.



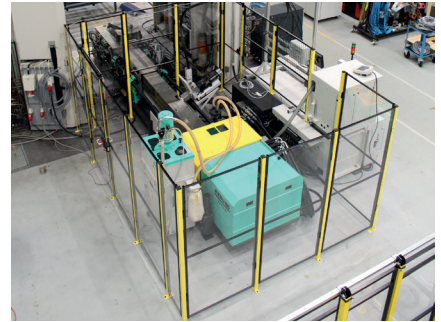
*Traktionsbatteriegehäuse aus SMC (weiß) mit lokaler unidirektionaler Endlosfaserverstärkung (schwarz).*

## Sheet Molding Compound (SMC)

Der duromere Verbundwerkstoff Sheet Molding Compound (SMC) ermöglicht Leichtbaulösungen in Anwendungsbereichen, die durch ein hohes Anforderungsprofil hinsichtlich mechanischer, chemischer und thermischer Beanspruchung gekennzeichnet sind. Die Aktivitäten am Fraunhofer ICT beinhalten Rezepturenentwicklung, Verwendung neuartiger Harzsysteme sowie Verstärkungsfasern und die Entwicklung einer optimierten Prozessführung. Hierbei werden sowohl konventionelle duromere als auch thermoplastische Harzsysteme für Anwendungen zum Beispiel in der Automobil- und Nutzfahrzeugindustrie weiterentwickelt.

## Direkt-Prozesse mit In-Line-Compoundierung im Spritzgießen und Fließpressen

Wird die Compoundiertechnik und Formgebung zu einem Prozess verbunden, ergeben sich für den Kunststoffverarbeiter neue, innovative Möglichkeiten zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften von Bauteilen bei gleichzeitiger Energie- und Materialkosteneinsparung. Durch das direkte Einarbeiten von Fasern lassen sich im Bauteil zudem größere Faserlängen als bei konventionellen halbzeugbasierten Verfahren erzielen. Diese Technologie bietet besondere Flexibilität bei den Kombinationsmöglichkeiten der Matrixmaterialien und



*Spritzpresse – Modulares Langfaser-Spritzgießaggregat in Verbindung mit einer 3.600-Tonnen-Pressen.*

Verstärkungsfasern wie beispielsweise Standard-, Natur- und Recyclingfasern.

## Gezielter Einsatz von unidirektionalen Faserverstärkungen

Maximales Leichtbaupotenzial für Bauteile wird durch den gezielten und ressourcenschonenden Einsatz von Endlosfaserverstärkungen in hochbelasteten Bereichen erreicht. Indem unidirektionale Faserverstärkungen in die Matrix eingebracht werden, können die spezifischen Eigenschaften fließfähiger Materialsysteme weiter verbessert werden, womit auch strukturelle Anwendungen möglich werden. Die 3D-Skelett-Wickeltechnik (3DSW) und der Einsatz von lokalen UD-Prepregs bieten großserienfähige Lösungen für lokal endlosfaserverstärkte Bauteile im Spritzgießen und Fließpressen.

## Kontakt

Dr. Björn Beck  
Tel. +49 721 4640-593  
bjorn.beck@ict.fraunhofer.de

# Strukturleichtbau

Die Gruppe Strukturleichtbau befasst sich mit der Entwicklung und Optimierung von Werkstoffen und Prozessen zur Herstellung von hochperformanten Leichtbaustrukturen. Höchste Festigkeiten im Bauteil erreichen wir durch den gezielten Einsatz von Endlosfasern.

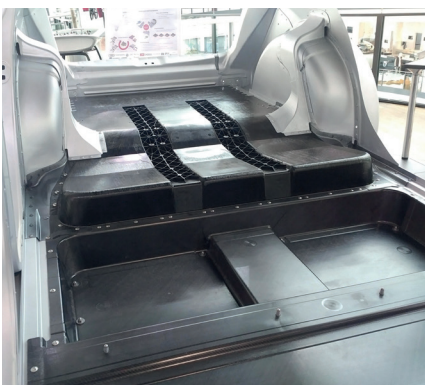
## Materialentwicklung

Eine Vielzahl an Rohstoffen und Halbzeugen kann zur Herstellung von Faserverbundstrukturen eingesetzt werden. Hier unterstützen wir unsere Kunden bei der Entwicklung oder Auswahl der richtigen Matrix- und Faserhalbzeuge, um die besten Werkstoffeigenschaften zu erzielen und gleichzeitig eine effiziente Verarbeitung im Herstellungsprozess zu ermöglichen. Wir betrachten sowohl thermoplastische als auch duromere Matrixsysteme zusammen mit den verfügbaren Fasertypen und serienfähigen Fertigungsverfahren. Hierbei spielen die Funktionalisierung der Materialien und kombinierte Verfahren eine große Rolle.

## Prozessentwicklung

Unser großes Portfolio an Herstellungsverfahren ermöglicht es, Faserverbundstrukturen effizient im industriellen Maßstab herzustellen.

*Leichtbaudemonstrator  
Fahrzeugunterboden.*



Dabei liegt unsere Expertise in der Betrachtung der Gesamtprozesskette, der Optimierung bzw. Weiterentwicklung von Einzelprozessen zur Erfüllung der geforderten Qualität und Stückzahl. Eine unserer Kernkompetenzen ist die Validierung der Herstellungsverfahren und der Anlagentechnik im bei uns verfügbaren industriellen Umfeld.

## Nutzen Sie unsere Expertise

- Beratung zu Prozess und Materialauswahl, Optimierung von Fertigungskonzepten und Prozessketten für kontinuierlich faserverstärkte Faserverbundstrukturen
- Herstellung von Mustern zur Materialcharakterisierung
- Abmattern von Kundenwerkzeugen
- instrumentierte Prüfstände zur Charakterisierung des Umformverhaltens trockener und nasser Textilhalbzeuge
- Preforming: Automatisierung und Optimierung der Teilprozessschritte Zuschnitt, Handling, Drapieren, Besäumen
- RTM/HD-RTM: Reaktive Duromer- und Thermoplastverarbeitung mit Injektionsdrücken von bis zu 200 bar.
- Anlagentechnik zur Verarbeitung von Epoxidharzsystemen, Polyurethanen und Caprolactam (in-situ Polymerisation)
- Nasspressen und Prepregpressen: Charakterisierung und Weiterentwicklung der Prozesse sowie deren Derivate
- automatisiertes Umformen bzw. Formpressen von thermoplastischen und duromeren Halbzeugen
- Tapelegen im großserienfähigen Maßstab, energieeffiziente Konsolidierung faserverstärkter Halbzeuge und deren kombinierte Verarbeitung, zum Beispiel durch Fließpressen oder Spritzgießen
- Profilverstellung mit dem Pultrusionsverfahren (klassisch und mit Injektionskammern; mit duromeren und thermoplastischen Materialsystemen)
- Prozessdatenerfassung und Auswertung zur Dokumentation und simulativen Validierung



*Hybride Sitzlehne gefertigt auf einer modularen Produktionsanlage.*

## Kontakt

Michael Wilhelm  
Tel. +49 721 4640-746  
michael.wilhelm@ict.fraunhofer.de



# Mikrowellen- und Plasmatechnologie

In der Mikrowellen- und Plasmaprozesstechnik befasst sich ein erfahrenes Expertenteam mit der Entwicklung von Anlagen- und Messtechniken. Die dafür eigens entwickelte numerische Simulation von Mikrowellen- und Plasmaprozessen erleichtert häufig eine schnelle Erarbeitung neuer Prozesslösungen.

## Mikrowellen

Die thermische Verarbeitung von nicht-metallischen Werkstoffen wie beispielsweise Kunststoffen, Gläsern oder Naturstoffen erfolgt meist über Kontaktheizungen oder Infrarotstrahler. Diese Verfahren heizen die Oberfläche des Werkstoffs auf und die Wärme diffundiert ins Innere bis die gewünschte Durchwärmung erreicht ist. Dieser Prozess ist wegen der geringen Wärmeleitfähigkeit dieser Materialien zeitintensiv.

Mikrowellen sind nichtionisierende elektromagnetische Strahlen und werden von polaren, magnetischen oder schwach elektrisch leitfähigen Materialien absorbiert. Dank ihrer großen

*Mikrowellen-Plasma-Anlage großflächig.*



Wellenlänge besitzen Mikrowellen in vielen Nichtmetallen eine hohe Eindringtiefe. Damit ist es möglich, kontaktlos Wärme volumetrisch und unabhängig von Wärmeleitung schnell und tief in den Werkstoff einzubringen. Die Schwerpunkte unserer Arbeiten liegen auf der Entwicklung von Prozessen, Anlagen und Materialformulierungen zum industriellen Einsatz der Mikrowellentechnik. Aktuelle Entwicklungsschwerpunkte sind beispielsweise mikrowellenassistierte Chemie, Desorptionsprozesse, Pultrusion, De-Bonding und RTM-Verfahren.

## Plasmen

Plasmabeschichtungsverfahren wie zum Beispiel PCVD (plasma chemical vapour deposition) können die Oberflächen verschiedener Materialien mit dünnen Funktionsschichten ausstatten, welche die Eigenschaften oder die Gebrauchsfähigkeit der Bauteile wesentlich verbessern. Die beschichteten Oberflächen besitzen Eigenschaften, die oft nicht durch konventionelle Beschichtungsverfahren erreicht werden können. Plasmen, die mit Mikrowellen erzeugt werden, schonen die Oberfläche und zeichnen sich durch hohe Beschichtungsraten aus. Zusammen mit unseren Partnern entwickeln wir neue Beschichtungsverfahren und übertragen diese auf industrielle Prozesse. Beispielsweise wurde ein sehr effizientes, neues Beschichtungsverfahren für Kratzschutz auf Polycarbonat oder ein hoch effektiver Korrosionsschutz für Metalle, wie zum Beispiel für hochfeste Stähle oder



©Nesmuk

*Korrosionsschutzschicht auf Damastmesser als Anwendungsbeispiel für eine Korrosionsschutzschicht auf Metallen.*

Aluminiumlegierungen entwickelt. Eine neuartige nanoporöse Haftschiicht verbessert die Haftung von Kunststoffen oder Klebstoffen in Hybridlösungen, beispielsweise auf Metallen, erheblich. Hierbei kommen sowohl Vakuum- als auch Atmosphärendruckplasmen zum Einsatz.

## Simulation

Simulationstechnologien erleichtern und beschleunigen bereits in vielen Bereichen den Entwurf und die Konstruktion technischer Systeme. Unter Nutzung kommerzieller Software und selbst entwickelter Modelle berechnen wir elektromagnetische Felder in Mikrowellenanlagen und die damit verbundene Erwärmung oder das daraus generierte Plasma und unterstützen damit die Anlagen- und Prozessentwicklung.

## Kontakt

Dr. Rudolf Emmerich  
Tel. +49 721 4640-460  
rudolf.emmerich@ict.fraunhofer.de

# Materialcharakterisierung und Schadensanalyse

In unserem Prüflabor können wir polymere Werkstoffe entlang der gesamten Prozesskette, vom Rohstoff bis zum Bauteil, umfassend untersuchen. Wir generieren Materialdaten für die Struktur- und Prozesssimulation und bieten im Schadensfall eine systematische Analyse zu Schadensursachen und Fehlereinflüssen.

## Probekörperherstellung

Prüfergebnisse können nur dann zum Vergleich herangezogen werden, wenn die Probekörperherstellung und die Probenvorbereitung zwischen den Vergleichsmaterialien identisch waren. Dafür stehen in den Technika und Laboren unter anderem folgende normgerechte Herstellmethoden für Prüfkörper zur Verfügung:

- Spritzgussverfahren für Thermoplaste und rieselfähige Duomere
- Anfertigung von Plattenmaterial zur Herstellung von Probekörpern mittels Pressverfahren
- Mechanische Trennverfahren und Heißdrahtschneiden
- Aufleimerpräparation
- Probenkonditionierung im Klimaschrank

## Mechanische Prüfverfahren im Werkstoffprüflabor

- Zugprüfung mit Bestimmung der Querkontraktion
- Biegeprüfung 3-Punkt und 4-Punkt
- Prüfung der interlaminaren Scherfestigkeit (zum Beispiel ILSS, Zugscherversuch, Schneidscherversuch etc.)
- Druckprüfung zum Beispiel an Faserverbundstoffen oder Schaumstoffen
- Schlagzähigkeit/Kerbschlagzähigkeit (Charpy) und Durchstoß-Versuch
- Prüfung der Verbundfestigkeit (zum Beispiel Lap-Shear Test)
- Wärmeformbeständigkeit HDT und Vicat-Erweichungstemperatur
- Dynamisch-mechanische Analyse (DMA)
- Charakterisierung des Umformverhaltens von Halbzeugen

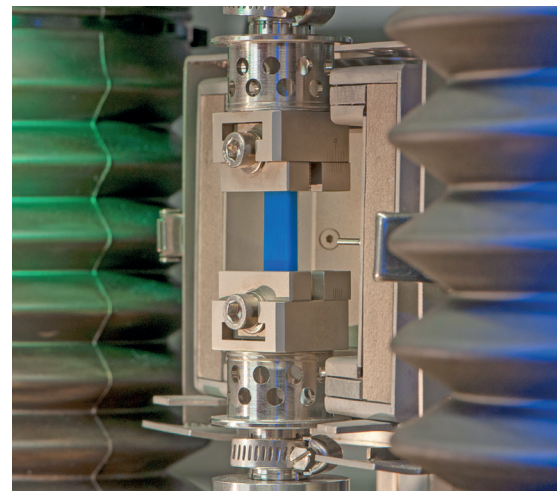
## Rheologische und ergänzende Prüfverfahren für Kunststoffe

- Scherviskositätsbestimmung (Hochdruckkapillarviskosimeter und Platte-Platte-Rheometer)
- Dehnviskosität von Kunststoffschmelzen (Rheotens)
- Schmelzindexprüfung (MFR/MVR)
- Bestimmung des spezifischen Volumens in Abhängigkeit von Druck und Temperatur (pVT-Messung)
- Fasergehalts- und Faserlängenmessung
- Bestimmung des Feuchtegehalts
- Shore-Härte (Shore A und Shore D)
- Dichtebestimmung (Auftriebsmethode)
- Farbmessung
- Kontaktwinkelmessung/Bestimmung der Grenzflächenenergie
- thermische Analyse (DSC, TGA, TG-MS etc.)
- Spektroskopie (FTIR, UV-VIS)
- Wärmeleitfähigkeitsmessungen
- Alterung und Bewitterung

## Mikroskopie und Präparationstechnik

Wir verfügen über ein umfangreiches Know-how in der Präparation und Mikroskopie (LIM und REM) von Kunststoffproben (auch faserverstärkt) wie zum Beispiel:

- Kristallinität von Kunststoffen
- Darstellung von Lunkern/Poren, Faserimprägnierung
- Faser- oder Partikelverteilung in Polymeren
- Morphologie von Polymerblends
- Schichtdickenbestimmung von Oberflächenbeschichtungen



*Dynamisch-mechanische Analyse (DMA) unter Zugbeanspruchung.*



*Reihenextraktion zum Beispiel zur Restmonomerbestimmung.*

## Kontakt

Susanne Lüssenheide  
Tel. +49 721 4640-717  
susanne.luessenheide@ict.fraunhofer.de



# Unsere Anlagentechnik

**Das Fraunhofer ICT verfügt über eine moderne, auf die Bedürfnisse der anwendungsnahen Forschung und Entwicklung zugeschnittene Technikumsausstattung.**

## Materialentwicklung und Compoundiertechnologien

- diverse Doppelschneckenextruder
  - Schneckendurchmesser: 16 bis 40 mm
  - Verfahrenslängen: 36 bis 60 D
- Flachfolienanlage bis 200 mm Folienbreite
- gravimetrische Waagen zur Dosierung von Granulaten, Pulvern und Flakes von wenigen Gramm pro Stunde bis zu mehr als 250 kg/h
- Dosiertechnik für Sonderverfahren
  - Dosierwaagen für gemahlene/geschnittene Fasern
  - Gasdosierstation für Stickstoff, Kohlenwasserstoff und Kohlenstoffdioxid
  - Dosiersysteme für flüssige und hochviskose Medien
  - Flüssigdosierung für Suspensionen von Nanopartikeln
- Schmelzefilter, druckkonstant und gasdicht
- Ultraschall- und Mikrowellenanwendung in der Extrusion
- Prozessintegration von Inline-Analysemethoden (Viskosität, Raman, NIR, Druck, Temperatur, Verweilzeit)
- Stranggranulierung, Unterwassergranulierung (auch zur Herstellung von Mikrogranulaten) sowie Heißabschlag-Luftgranulierung, variabel einsetzbar an allen Extrudern
- diverse Trockner für Granulate
- diverse Vakuumpumpen basierend auf Wasserring oder Drehschieberttechnologie für bis zu 1 mbar abs.
- Laborpresse zur Probenherstellung
- Analyseverfahren für Dispergierungszustände
- Messplatz für elektrische Oberflächen- und Volumenleitfähigkeit
- diverse Anlagen zur Herstellung von Filamenten für den 3D-Druck
- Sicherheitseinrichtungen und Absaugungen für das Arbeiten mit Nanomaterialien und Gefahrstoffen am Extruder

## Schäumtechnologien

- Partikelschaumtechnik
  - zwei Partikelschaumlinien mit Doppelschneckenextrudern und Unterwassergranulierungen
  - Compoundiertechnik für gasbeladene Granulate
  - Herstellungstechnologie für direktgeschäumte Partikel
  - Vorschäumer und Druckbeladung
  - dampfbasierter Labor-Formteilautomat
  - dampfbasierter Formteilautomat im Industriemaßstab mit frei programmierbarer Steuerung
  - radiofrequenzbasierter Laborformteilautomat
  - diverse Werkzeuggeometrien für Formteile
  - variotherme Werkzeugtechnik für die Partikelschaumverarbeitung
- Schaumextrusion
  - Tandem-Schaumextrusionsanlage für geschäumte Halbzeuge, Platten und Folien
  - Breitschlitz-, Loch- und Ringspaltdüsen
  - diverse Gasdosierstationen (zwei Membranpumpen und eine Kompressorstation für flüssige und gasförmige Treibmittel, HPLC Pumpen, etc.)
- Autoklavtechnologie
  - diverse Autoklaven bis 15 l Volumen
  - Dosierung diverser Treibmittel

## Additive Fertigung

- Anlagen zur Herstellung von gefüllten und faserverstärkten Filamenten in 1,75 mm und 2,85 mm Durchmesser mit Einrichtungen zur Prozessüberwachung in Bezug auf Durchmesser und Rundheit



### Spritzgießcompounder.

- 2-Komponenten-Drucker für Standard-Kunststoff-Granulate nach dem Arburg Kunststoff-Freiformen-Funktionsprinzip (AKF):
  - Arburg freeformer 200-3X
  - Bauraumgröße 154 × 134 × 230 mm
  - Bauraumplatten- und Bauraumtemperatur max. 120 °C
- Mehrere 1-Komponenten für Standard-Filamente nach dem Fused-Filament-Fabrication-Funktionsprinzip (FFF)
- Industrieroboter mit 50 kg Manipulationsgewicht und einem experimentellen Druckkopf zur Herstellung von endlosfaserverstärkten Skelettstrukturen
- Mehrere 2-Komponenten Drucker nach dem Fused-Filament-Fabrication-Funktionsprinzip (FFF), u. a.
  - German RepRap X500 zur Verarbeitung gefüllter, funktionalisierter und kurzfaserverstärkter Filamente
    - Bauraumgröße 500 × 400 × 450 mm
    - Bauplattentemperatur max. 120 °C
    - Bauraumtemperatur max. 80 °C
    - Extrudertemperatur max. 400 °C
  - Anisoprint Composer A3 zur Verarbeitung von endlosfaserverstärkten Filamenten
    - Bauraumgröße 420 × 297 × 210 mm
    - Bauplattentemperatur max. 150 °C
    - Bauraumtemperatur max. 100 °C
    - Extrudertemperatur max. 350 °C
- Dieffenbacher LFT-D Inline-Compounder bestehend aus zwei 40-mm-Doppelschneckenextrudern mit einem Durchsatz von bis zu 150 kg/h
  - Gravimetrische Dosierung von Polymer, Masterbatch und Zusatzstoffen
  - Faser Direkteinzug für Glas- und Kohlenstofffasern
  - Plattenwerkzeuge zur Materialcharakterisierung (400 × 400 mm<sup>2</sup>)
  - Diverse Demonstratorwerkzeuge (Rippen und Sicken, Überpressen von Endlosfaserhalbzeugen, Bauteilverzug)
- SMC-Technologie
  - SMC-Flachbahnanlage mit Glas- und Kohlenstofffaser-Breitschneidwerk für eine Arbeitsbreite bis 1.600 mm
  - Vakuumeinheit zur Evakuierung entsprechender Werkzeuge
  - Mischlabor mit div. Dissolvern, Doppelschneckenextruder
  - Messtechnik (Brookfield-Viskosimeter, Platte-Platte-Rheometer)
  - Prüftechnik (DSC, TGA, Plastometer, Qualisurf, mechanische Prüfung etc.)
  - Fließpressrheometer mit Werkzeuginnendruckensensoren
  - verschiedene Abmusterungs- und Prüfwerkzeuge verfügbar
- Spritzgießtechnologie
  - Schließkraftbereich: 600 bis 36.000 kN
  - hochtemperaturtaugliche Anlagentechnik
  - Sonderverfahren: LFT-D-IM, FDC, TSG, MuCell®, LFT-D-Schaum, Expansionsschäumen, Mehrkomponenten-Spritzgießen, Monosandwich, Gegentakt-Spritzgießen, Kaskaden-Spritzgießen, Spritzprägen
  - 7.000 kN Spritzgießcompounder mit 40 mm Doppelschneckenextruder (48 D)
  - 5.500 kN Spritzgießmaschine mit vollautomatisierter Fertigungszelle zur Verarbeitung von thermoplastischen und duromeren Kunststoffen

### Spritzgießen und Fließpressen

- Presstechnologie
  - parallelaufgeregelt, hydraulische Pressen für die Verarbeitung von thermoplastischen und duromeren Faserverbundkunststoffen mit 6.300 und 36.000 kN Schließkraft



- 36.000 kN Spritzpresse mit Bolt-on-Spritzeinheiten:
    - 80 mm FDC-Spritzeinheit
    - 90 mm Standard-Spritzeinheit
  - diverse Abmusterungs- und Prüfkörperwerkzeuge mit integrierter Sensorik zur Prozessüberwachung
  - Hybridtechnologien
    - Roboterbasierte 3D-Faserwickeltechnik zur Herstellung komplexer Skelettstrukturen
    - Kunststoff-Metall-Hybride
    - Hinterspritzen von flächigen Laminaten
  - Heiztechnik: IR-Heizfelder, Kontaktheiztisch und diverse Wärmeschränke
- Raupenabzug mit Abzugskraft 8 t und 3 m/min
  - Erfassung von Prozess- und Materialparametern, Energieaufnahme, CO<sub>2</sub>-Emissionen, etc. in zentraler Datenbank
  - Diverse Werkzeuge mit und ohne Injektions- und Imprägnierkammern
  - Umfangreiche Sensorik und Messtechnik
  - Spulenregale für C-Fasern Außenabzug und GF Innenabzug
  - RTM/WCM-Technologie
    - High pressure RTM in diversen Verfahrensvarianten (IRTM, CRTM, PC-RTM)
    - Thermoplastisches RTM (Caprolactam)
    - Dosieranlagen mit 2 bis 3 Komponenten (EP, PUR, PA6)
    - Erfassung von RTM- und Pressenparametern in zentraler Datenbank
    - Prepreg Compression Molding
    - diverse Stamm- und Musterwerkzeuge
    - Temperierbarer Universalprüfstand zum (sequenziellen) Drapieren
    - CNC Schneidtisch

## Strukturleichtbau

- Thermoplastische Prepreg-Prozesse
  - automatisiertes Thermoplast-Tapelegeverfahren
  - strahlungsinduzierte Vakuumkonsolidierung von Laminaten
  - Konsolidierung von (Sandwich-)Laminaten
  - vollautomatisierte Produktionszelle zur Umformung von flächigen Halbzeugen an 3.600 t Presse
  - Überpressen und Hinterspritzen der Laminats mittels LFT-D oder (Bolt-on-)Spritzeinheit
- Pultrusion
  - Pultrusion mit reaktiven Thermoplasten und duromeren Matrices
  - 2K-Dosieranlagen für Caprolactam und Polyurethansysteme

## Mikrowellen- und Plasmatechnologie

- Mikrowellenanlagen
  - Generatoren (auch halbleiterbasiert) von 1,2 bis 6 kW bei 915 MHz, 2,45 GHz und bis 5,8 GHz
  - Richtkoppler zur Impedanzmessung, Leckstrahlungsmessgeräte
  - Laboreinrichtungen zur Bestimmung dielektrischer Eigenschaften

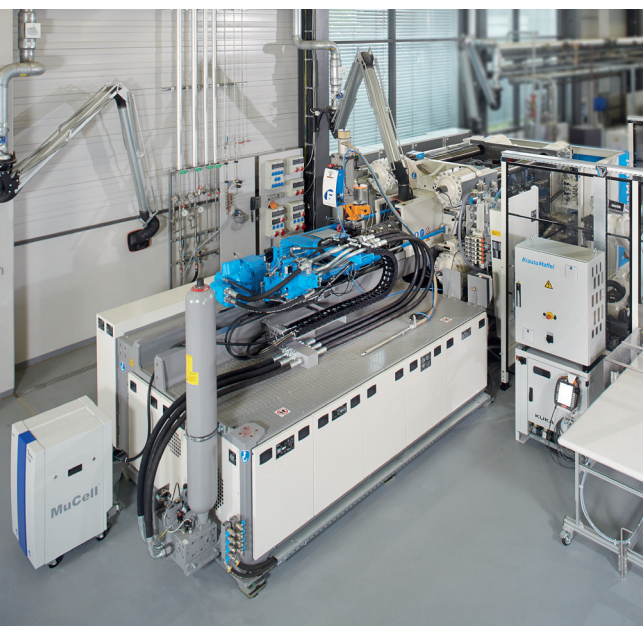


Schaumtandex-Extrusionsanlage (links) und Hochdruck RTM Prozesstechnik bestehend aus Hydraulikpresse und Hochdruck-Injektionseinheit zur Herstellung von Hochleistungsfaserverbunden (rechts).

- Anlagen zur großflächigen und lokalen Harzaushärtung
- Pyrolyseanlage zur Wiedergewinnung von Kohlenstofffasern aus Composites
- mikrowellenbasierte Sensoren zur Prozessüberwachung
- Plasmatechnik
  - Niederdruck-Flächenplasma, 500 × 1.000 mm Applikationsfläche, 8 × 2 kW Leistung
  - Niederdruck-Plasmaanlage, 8 Gaskanäle, ECR-Plasma, 1.000 mm Plasmalänge
  - Atmosphärendruck-Plasmaanlage, 2 Plasmadüsen zur Beschichtung, 500 x 500 mm Beschichtungsfläche
- Simulation
  - FEM-Software zur Lösung multiphysikalischer Aufgabenstellungen
  - Hardware mit 512 GB RAM und 64 Prozessorkernen
- Schmelzindex-Prüfgerät
- Rotations- bzw. Oszillations-Viskosimeter (Platte-Platte, Kegel-Platte)
- Grenzflächencharakterisierung
  - Kontaktwinkelmessgerät
- thermische Analyse
  - Differential Scanning Kalorimetrie (DSC)
  - Thermogravimetrie TG-MS, Pyrolyse-GC-MS
  - Makro-TGA und Mikrowellenveraschung zur Fasergehaltsbestimmung
  - Wärmeleitfähigkeitsmessung
- Mikroskopie
  - Lichtmikroskopie Auflicht und Durchlicht, Polarisation
  - Rasterelektronenmikroskop mit Elementanalyse (REM-EDX)
  - (Kryo-)Mikrotom, Schleif- und Poliermaschinen
  - Weißlichtinterferometer
  - Faserlängenmessung (FASEP®)
- Spektroskopie
  - FTIR mit ATR-Aufsatz, IR-Mikroskop
  - UV-VIS und NIR
- Brandtests
- Klimaschränke
- Freibewitterungsstand

### Materialcharakterisierung und Schadensanalyse

- mechanische Prüfungen
  - Universalprüfmaschine 50 kN und 5 kN mit Vorrichtungen für Biege-, Zug- und Druckprüfungen und optischer und mechanischer Dehnungsmessung
  - Schlagpendel und Durchstoß-Fallwerk
  - HDT/Vicat-Gerät
  - Dynamisch Mechanische Analyse (DMA)
- rheologische Charakterisierung
  - Hochdruckkapillarviskosimeter
  - Rheotens®-Gerät zur Dehnviskositäts-Bestimmung



Spritzgießfertigungszelle zur Verarbeitung von rieselfähigen, duromeren Materialien und thermoplastischen Spritzgießgranulaten (links) und Fiberforge-Anlage zur voll automatisierten Verarbeitung von unidirektional faserverstärkten Thermoplast-Tapes (UD-Tapes) (rechts).



## Kontakt

---

Prof. Dr. Frank Henning  
Polymer Engineering  
Tel. +49 721 4640-420  
[frank.henning@ict.fraunhofer.de](mailto:frank.henning@ict.fraunhofer.de)

Fraunhofer ICT  
Joseph-von-Fraunhofer Str. 7  
76327 Pfinztal  
[www.ict.fraunhofer.de](http://www.ict.fraunhofer.de)