



# Ein Bauteil, viele Eigenschaften:

Welche Vorteile funktional gradierte Materialien (FGM) bringen und welche Herausforderungen diese an die Konstruktion und Fertigung stellen



## Was Sie in dieser Handreichung erwartet:

1. Was sind funktional-gradiente Materialien (FGM)?
2. Welche Anforderungen stellen funktional-gradiente Materialien an die Modellierung von Bauteilen?
3. Welche Bedeutung haben funktional-gradiente Materialien für die additive Fertigung?
4. Wie funktioniert die Simulation von FGM?
5. Was bedeutet die Entwicklung von FGM für die CAD-Systeme?

### 1. Was sind funktional-gradiente Materialien (FGM)?

Die Natur macht es uns vor: sie gradiert Bestandteile der Körper von Lebewesen. Beispielsweise besitzen Zähne eine harte Oberfläche und einen weicheren Kern - wäre der Kern ebenfalls hart und spröde, würden häufig Zahnteile absplittern. Knochen hingegen haben an unterschiedlichen Stellen verschiedene Porositätsgrade, um gleichzeitig stabil und möglichst leicht zu sein.



Abbildung 1: Schnitt durch einen Knochen

Dies ist schon seit langem bekannt und wird in der Herstellung von Bauteilen seit Jahrhunderten genutzt, z.B. beim Härten von Objekten aus Metall. In den 1980er Jahren tauchte dafür ein neuer Begriff auf: Die Verfahren und die dabei entstehenden Materialeigenschaften werden seitdem als Funktional Gradiente Materialien (FGM) beschrieben.

## MERKMALE VON FGMs

- Gradient in der Zusammensetzung:

Die chemische Zusammensetzung eines FGMs kann kontinuierlich oder stufenweise über eine bestimmte Dimension variieren. Ein Beispiel ist ein Material, bei dem sich der Metallgehalt von einer Seite zur anderen ändert, wodurch eine Kombination aus metallischen und keramischen Eigenschaften erreicht wird.

- Gradient in der Mikrostruktur:

Die Mikrostruktur, z.B. Porosität oder Kornstruktur, kann ebenfalls variieren, was zu Unterschieden in Dichte, Festigkeit, Elastizität und anderen mechanischen Eigenschaften führt.

- Thermische Eigenschaften:

FGMs können so gestaltet werden, dass sie graduelle Änderungen in ihren thermischen Eigenschaften aufweisen, was besonders nützlich in Hochtemperaturanwendungen ist.

## ANWENDUNGEN VON FGMs

- Hitzeschilder und thermische Barrieren:

In der Luft- und Raumfahrt werden FGMs oft in Hitzeschildern und thermischen Barrieren verwendet. Ein typisches Beispiel ist eine Beschichtung, die von einer hitzebeständigen Keramik auf der Außenseite zu einem duktilen Metall auf der Innenseite übergeht, um sowohl hohe Temperaturen als auch mechanische Belastungen zu widerstehen.

- Biomechanische Implantate:

In der Medizintechnik werden FGMs in Knochenimplantaten verwendet, um die mechanischen Eigenschaften des Implantats an das umgebende Gewebe anzupassen. Dies kann die Osseointegration verbessern und das Risiko von Implantatversagen reduzieren.

- Optische Materialien:

FGMs werden auch in optischen Anwendungen genutzt, z.B. in gradientenoptischen Linsen, die eine variable Brechkraft aufweisen und somit verbesserte optische Eigenschaften bieten.

- Elektronische Geräte:

In der Elektronik können FGMs in Bauteilen verwendet werden, die eine graduelle Änderung der elektrischen Leitfähigkeit erfordern, was zu einer verbesserten Leistung und Haltbarkeit führt.

## 2. Welche Anforderungen stellen funktional-gradierte Materialien an die Modellierung von Bauteilen?

Funktional-gradierte Materialien stellen spezifische Anforderungen an die Modellierung von Bauteilen, da ihre räumlich variierenden Eigenschaften präzise erfasst und analysiert werden müssen. Hier sind die wichtigsten Anforderungen und Herausforderungen bei der Modellierung von Bauteilen mit FGMs:

### a. MATERIALMODELLIERUNG

- Gradientendefinition:

Es ist erforderlich, die räumliche Verteilung der Materialeigenschaften genau zu definieren. Dies kann durch analytische Funktionen, experimentelle Daten oder numerische Interpolationen geschehen.

- Kontinuierliche und diskrete Gradienten:

Sowohl kontinuierliche als auch stufenweise Änderungen in der Materialzusammensetzung müssen modelliert werden können, abhängig von den spezifischen Anforderungen des Bauteils.

### b. GEOMETRIE- UND NETZGENERIERUNG

- Präzise Geometrierstellung:

Die CAD-Modelle müssen die komplexen Geometrien und Übergangsbereiche der FGMs genau darstellen.

- Anpassungsfähige Netzgenerierung:

Das Finite-Elemente-Netz (Mesh) muss in der Lage sein, unterschiedliche Dichten in Bereichen mit starken Gradienten und in homogenen Bereichen zu verwenden, um die Genauigkeit zu maximieren und die Rechenzeit zu minimieren.

### c. MATERIALEIGENSCHAFTEN UND DATENINTEGRATION

- Anisotrope Eigenschaften:

FGMs können anisotrope Materialeigenschaften aufweisen, die in der Modellierung berücksichtigt werden müssen.

- Multiskalenmodellierung:

Um sowohl mikrostrukturelle Details als auch makroskopische Eigenschaften zu erfassen, kann eine Multiskalenmodellierung erforderlich sein.

### d. NUMERISCHE METHODEN

- Erweiterte Finite-Elemente-Methoden (FEM):

Die traditionelle FEM muss angepasst werden, um die variierenden Materialeigenschaften innerhalb eines Elements zu berücksichtigen. Dazu können spezielle Elementtypen oder Interpolationsmethoden verwendet werden.

- Andere numerische Methoden:

Neben FEM können auch Methoden wie die Finite-Differenzen-Methode (FDM) oder die Finite-Volumen-Methode (FVM) eingesetzt werden, besonders in spezifischen Anwendungen wie der Wärmeübertragung oder der Strömungssimulation.

#### e. RAND- UND ANFANGSBEDINGUNGEN

- Komplexe Randbedingungen:

Die Randbedingungen müssen die spezifischen Belastungen und Umgebungsbedingungen genau widerspiegeln, unter denen das FGM-Bauteil eingesetzt wird.

- Initialbedingungen:

Besonders bei transienten Analysen müssen die Anfangsbedingungen genau definiert sein.

#### f. THERMO-MECHANISCHE KOPPLUNG

- Multiphysik-Simulationen:

FGMs erfordern oft die simultane Berücksichtigung mehrerer physikalischer Phänomene (z.B. thermische und mechanische Belastungen). Multiphysik-Simulationen sind daher notwendig, um die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen physikalischen Effekten zu erfassen.

- Thermo-mechanische Modellierung:

Die Modellierung muss die Wechselwirkungen zwischen thermischen und mechanischen Eigenschaften genau berücksichtigen, insbesondere in Anwendungen mit hohen Temperaturgradienten.

#### g. SOFTWARE- UND HARDWARE-ANFORDERUNGEN

- Leistungsfähige Software:

Die verwendete Simulationssoftware muss erweiterte Funktionen zur Modellierung von FGMs bieten. Beispiele sind ANSYS, ABAQUS und COMSOL Multiphysics.

- Rechenleistung:

Aufgrund der Komplexität der Modelle und der benötigten Feinheit des Netzes sind erhebliche Rechenressourcen erforderlich. Hochleistungsrechner (HPC) oder Cloud-basierte Lösungen können notwendig sein.

#### h. VALIDIERUNG UND VERIFIZIERUNG

- Experimentelle Validierung:

Die Modelle müssen durch experimentelle Daten validiert werden, um sicherzustellen, dass die Simulationen das reale Materialverhalten genau wiedergeben.

- Verifikationsmethoden:

Numerische Verifikationsmethoden, wie Mesh-Konvergenzstudien, sind notwendig, um die Genauigkeit der Simulationen zu gewährleisten.

### ZUSAMMENFASSUNG

Die Modellierung von Bauteilen mit funktional-gradierten Materialien erfordert eine detaillierte und sorgfältige Berücksichtigung der variierenden Materialeigenschaften, eine präzise Geometrie- und Netzgenerierung, die Anwendung fortschrittlicher numerischer Methoden sowie leistungsfähige Software- und Hardwarelösungen. Durch die genaue Modellierung können die einzigartigen Vorteile von FGMs vollständig ausgeschöpft und in realen Anwendungen effektiv genutzt werden.

### 3. Welche Bedeutung haben funktional-gradierte Materialien für die additive Fertigung?

Funktional-gradierte Materialien (FGMs) haben eine besondere Bedeutung für die additive Fertigung (auch bekannt als 3D-Druck), da diese Technologien einzigartige Möglichkeiten bieten, die graduelle Variation von Materialeigenschaften innerhalb eines Bauteils präzise zu kontrollieren und herzustellen. Hier sind einige der wichtigsten Aspekte und Vorteile:

#### a. DESIGNFREIHEIT UND KOMPLEXITÄT

Additive Fertigung ermöglicht das Erstellen komplexer Geometrien und interner Strukturen, die mit traditionellen Fertigungsmethoden nicht realisierbar sind. FGMs profitieren davon, da sie oft komplexe, räumlich variierende Materialeigenschaften erfordern.

#### b. MATERIALVARIATION

- Kontrollierte Gradienten:

Mit additiven Fertigungsmethoden kann die Materialzusammensetzung und -struktur auf mikroskopischer Ebene präzise gesteuert werden. Dies ermöglicht die Herstellung von Bauteilen mit kontinuierlichen oder diskreten Materialübergängen.

- Mehrmaterialdruck:

Einige 3D-Drucker sind in der Lage, mehrere Materialien gleichzeitig zu drucken, was ideal für die Herstellung von FGMs ist. Beispielsweise können Metalle und Polymere oder verschiedene Metalle kombiniert werden.

#### c. OPTIMIERUNG DER BAUTEILEIGENSCHAFTEN

- Mechanische Eigenschaften:

Durch die graduelle Variation der Materialzusammensetzung können die mechanischen Eigenschaften eines Bauteils optimiert werden, um sowohl Festigkeit als auch Flexibilität in verschiedenen Bereichen zu bieten.

- Thermische Eigenschaften:

FGMs können so gestaltet werden, dass sie unterschiedliche thermische Leitfähigkeiten aufweisen, was besonders in Anwendungen mit hohen Temperaturgradienten vorteilhaft ist.

- Biokompatibilität:

In der Medizintechnik können FGMs verwendet werden, um Implantate herzustellen, die sich besser in biologisches Gewebe integrieren, indem sie die Materialeigenschaften an die umgebenden biologischen Strukturen anpassen.

#### d. KOSTENEFFIZIENZ UND RESSOURCENSCHONUNG

- Materialeinsparung:

Additive Fertigung minimiert den Materialabfall im Vergleich zu subtraktiven Fertigungsmethoden. Dies ist besonders wichtig bei teuren oder schwer zu verarbeitenden Materialien.

- Prototyping und Kleinserien:

Die Herstellung von Prototypen und Kleinserien mit FGMs ist kosteneffizienter, da keine teuren Werkzeuge oder Formen benötigt werden.

#### e. ANWENDUNGSBEISPIELE

- Luft- und Raumfahrt:

Bauteile, die sowohl hohe Festigkeit als auch geringes Gewicht erfordern, können durch FGMs optimiert werden. Turbinenschaufeln mit graduellen Materialübergängen verbessern die thermische Beständigkeit und mechanische Belastbarkeit.

- Medizintechnik:

Knochenimplantate mit graduierten Eigenschaften können die Osseointegration fördern und die mechanische Anpassung an das natürliche Knochengewebe verbessern.

- Automobilindustrie:

Komponenten, die sowohl stoßabsorbierende als auch steife Bereiche benötigen, können durch FGMs realisiert werden, um die Sicherheit und Leistung von Fahrzeugen zu verbessern.

#### f. TECHNOLOGISCHE FORTSCHRITTE

- Direktes Energieabscheidungsverfahren (DED):

Diese Methode erlaubt es, Metallpulver oder -draht direkt zu schmelzen und aufzubauen, wodurch graduelle Änderungen in der Materialzusammensetzung erreicht werden können.

- Pulverbettfusion (PBF):

Diese Technik nutzt ein Pulverbett und einen Laser oder Elektronenstrahl, um Material selektiv zu verschmelzen. Durch Variationen in der Pulverzusammensetzung können FGMs hergestellt werden.

- PolyJet-Druck:

Diese Methode ermöglicht das Drucken von Bauteilen aus verschiedenen Photopolymeren, wodurch graduelle Änderungen der Materialeigenschaften erzielt werden können.

#### ZUSAMMENFASSUNG

Funktional-gradierte Materialien eröffnen in Kombination mit der additiven Fertigung neue Möglichkeiten in der Bauteilentwicklung und -optimierung. Die Fähigkeit, Materialeigenschaften innerhalb eines Bauteils präzise zu steuern, führt zu besseren, leistungsfähigeren und oft auch kosteneffizienteren Produkten. Diese Synergie zwischen FGMs und additiver Fertigung treibt Innovationen in vielen Hightech-Bereichen voran und stellt eine wichtige Weiterentwicklung in der Materialwissenschaft und Fertigungstechnik dar.

## 4. Wie funktioniert die Simulation von FGM?

Die Simulation von FGMs ist ein komplexer Prozess, der fortgeschrittene numerische Methoden und Computertechnik erfordert. Hier ist eine Übersicht der typischen Schritte und Methoden, die bei der Simulation solcher Materialien verwendet werden:

### a. DEFINITION DES GRADIENTEN

- Materialmodellierung: Zuerst muss das Materialmodell definiert werden, das beschreibt, wie die Materialeigenschaften (z.B. Elastizitätsmodul, Wärmeleitfähigkeit) räumlich variieren. Dies kann durch analytische Funktionen, experimentelle Daten oder numerische Interpolationen geschehen.

### b. GEOMETRIE UND NETZGENERIERUNG

- CAD-Modellierung: Ein präzises geometrisches Modell des Bauteils wird erstellt, oft mithilfe von CAD-Software.
- Netzgenerierung (Meshing): Das Bauteil wird in kleine, diskrete Elemente (Finite Elemente) unterteilt. Die Dichte des Netzes kann je nach Grad der Veränderung der Materialeigenschaften variieren, wobei dichtere Netze in Bereichen mit steilen Gradienten verwendet werden.

### c. NUMERISCHE METHODEN

- Finite-Elemente-Methode (FEM): Die FEM ist die am häufigsten verwendete Methode zur Simulation von FGMs. Sie teilt das Bauteil in viele kleine, einfache Elemente auf und löst die zugrunde liegenden physikalischen Gleichungen für jedes dieser Elemente.
  - o Elementeigenschaften: In jedem Element können die Materialeigenschaften unterschiedlich sein und basieren auf den definierten Gradientenfunktionen.
- Finite-Differenzen-Methode (FDM) und Finite-Volumen-Methode (FVM) sind alternative numerische Methoden, die für spezifische Anwendungen wie Wärmeübertragung oder Strömungssimulation verwendet werden können.

### d. RAND- UND ANFANGSBEDINGUNGEN

- Randbedingungen: Diese definieren, wie das Bauteil mit seiner Umgebung interagiert (z.B. festgehaltene Kanten, aufgebrachte Kräfte oder Temperaturen).
- Anfangsbedingungen: Diese sind besonders wichtig in transienten (zeitabhängigen) Analysen und definieren den Anfangszustand des Bauteils.

### e. LÖSUNG DER GLEICHUNGEN

- Solver: Die gewählten numerischen Methoden führen zur Aufstellung eines Systems von algebraischen Gleichungen, die gelöst werden müssen. Moderne Solver können diese Gleichungssysteme effizient lösen, selbst bei sehr großen und komplexen Modellen.

### f. POST-PROCESSING UND ERGEBNISANALYSE

- Visualisierung: Die Ergebnisse der Simulation werden visualisiert, oft in Form von Verformungen, Spannungsverteilungen, Temperaturfeldern usw.
- Ergebnisanalyse: Die Daten werden analysiert, um wichtige Erkenntnisse zu gewinnen, wie z.B. die Identifizierung von Schwachstellen oder Hotspots.

## g. SOFTWARE-TOOLS

Es gibt verschiedene Software-Tools, die speziell für die Simulation von FGMs entwickelt wurden oder solche Funktionen bieten:

- ANSYS:

Ein weit verbreitetes Finite-Elemente-Analyse (FEA) Tool, das erweiterte Funktionen zur Modellierung von FGMs bietet.

- ABAQUS:

Ein weiteres leistungsstarkes FEA-Tool, das für die Simulation von komplexen Materialverhalten und Gradienten geeignet ist.

- COMSOL Multiphysics:

Ein vielseitiges Tool, das Multiphysik-Simulationen ermöglicht und daher ideal für FGMs ist, die multiple physikalische Phänomene betreffen.

## 5. Was bedeutet die Entwicklung von FGM für die CAD-Systeme?

Die Modellierung (das Design) von Bauteilen beginnt häufig in CAD-Systemen oder anderweitig erstellte Entwürfe werden in solchen Systemen „ausmodelliert“. Die Fähigkeiten von CAD-Systemen richten sich traditionell nach den Möglichkeiten dessen, was herstellbar ist. In den letzten Jahren hat sich der neue Freiheitsgrad hinsichtlich der Formen, die mit 3D-Druck möglich wurden, deutlich auf den Funktionsumfang von CAD-Systemen ausgewirkt: Neben den Systemen der großen Anbieter, die in dieser Hinsicht erweitert wurden, gibt es auch einige neue Anbieter derartiger Software, die sich explizit den neuen Möglichkeiten des 3D-Drucks widmen.

Diese Systeme stoßen aber dort an ihre Grenzen, wo es darum geht, lokal – also in definierten Bereichen des Bauteils – variierende Eigenschaften zu beschreiben. Insbesondere dann, wenn diese Eigenschaftsvariationen zusätzlich fließend (kontinuierlich) ineinander übergehen sollen. Ein kontinuierlicher Übergang ist überall dort sinnvoll und vorteilhaft, wo z.B. Spannungsrisse zwischen Materialien aufgrund unterschiedlicher Ausdehnungskoeffizienten entgegengewirkt werden soll.

Die Entwicklung von FGM stellt neue Anforderungen an CAD-Systeme und führt zu erheblichen Erweiterungen und Anpassungen in diesen Systemen. Hier sind die Hauptaspekte, die die Entwicklung von FGMs für CAD-Systeme bedeuten:

## a. ERWEITERTE MATERIALDEFINITIONEN

- Gradientenmaterialien:

CAD-Systeme müssen die Fähigkeit bieten, Materialien mit räumlich variierenden Eigenschaften zu definieren und zu verwalten. Dies beinhaltet die Möglichkeit, Gradienten in der Zusammensetzung, Dichte, Elastizität und anderen Eigenschaften präzise zu modellieren.

- Multimaterial-Unterstützung:

CAD-Software muss in der Lage sein, mehrere Materialien innerhalb eines Bauteils zu definieren und deren Übergänge nahtlos zu integrieren.

#### b. KOMPLEXE GEOMETRIEMODELLIERUNG

- Adaptive Geometriemodellierung:

Die Software muss komplexe Geometrien und interne Strukturen, die für FGMs typisch sind, präzise modellieren können. Dazu gehören auch interne Gradienten und Übergangsbereiche zwischen verschiedenen Materialien.

- Detailgenaue Modellierung:

Es ist wichtig, dass CAD-Systeme mikroskalige Details erfassen können, die für die Eigenschaften von FGMs entscheidend sind.

#### c. ERWEITERTE SIMULATIONSINTEGRATION

- Integrierte Simulationswerkzeuge:

CAD-Systeme müssen nahtlos mit Simulationswerkzeugen integriert sein, um die physikalischen Eigenschaften und das Verhalten von FGMs unter verschiedenen Bedingungen zu analysieren.

- Multiphysik-Simulationen:

Die Fähigkeit, multiphysikalische Phänomene wie thermische, mechanische und elektrische Eigenschaften in einer einzigen Plattform zu simulieren, wird immer wichtiger.

#### d. BENUTZERFREUNDLICHKEIT UND AUTOMATISIERUNG

- Benutzerfreundliche Schnittstellen:

Die Software muss intuitive Schnittstellen bieten, die es Ingenieuren ermöglichen, komplexe Materialgradienten einfach zu definieren und zu modifizieren.

- Automatisierte Optimierung:

CAD-Systeme sollten automatisierte Werkzeuge zur Optimierung der Materialverteilung bieten, um die gewünschten Eigenschaften und die Leistungsfähigkeit des Bauteils zu maximieren.

#### e. DATENMANAGEMENT UND INTEROPERABILITÄT

- Effizientes Datenmanagement:

Die Verwaltung und Speicherung großer Mengen an Materialdaten und Simulationsergebnissen erfordert effiziente Datenmanagementlösungen.

- Interoperabilität:

CAD-Systeme müssen mit verschiedenen anderen Softwarelösungen und Formaten kompatibel sein, um einen nahtlosen Workflow von der Modellierung über die Simulation bis hin zur Fertigung zu gewährleisten.

#### f. ADDITIVE FERTIGUNG

- Design für additive Fertigung (DfAM):

CAD-Systeme müssen Werkzeuge bieten, die speziell auf die Anforderungen der additiven Fertigung abgestimmt sind, einschließlich der Fähigkeit, FGMs zu drucken.

- G-Code-Generierung:

Die Software muss in der Lage sein, den für den 3D-Druck erforderlichen G-Code zu generieren, der die Materialgradienten und komplexen Geometrien korrekt berücksichtigt.

## g. VALIDIERUNG UND VERIFIKATION

- Modellvalidierung:

CAD-Systeme sollten Funktionen zur Validierung und Verifizierung der Modelle bieten, um sicherzustellen, dass die Simulationen und das resultierende Verhalten den realen Eigenschaften entsprechen.

- Experimentelle Datenintegration:

Die Fähigkeit, experimentelle Daten zur Verifizierung der Simulationen und zur Anpassung der Modelle zu integrieren, ist entscheidend.

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Entwicklung von funktional-gradierten Materialien führt zu signifikanten Erweiterungen und Verbesserungen in CAD-Systemen. Diese Systeme müssen komplexe Materialgradienten und Geometrien unterstützen, fortschrittliche Simulations- und Optimierungstools integrieren und benutzerfreundliche Schnittstellen bieten. Dadurch können Ingenieure und Designer die einzigartigen Vorteile von FGMs voll ausschöpfen und innovative, leistungsfähige Bauteile entwickeln.

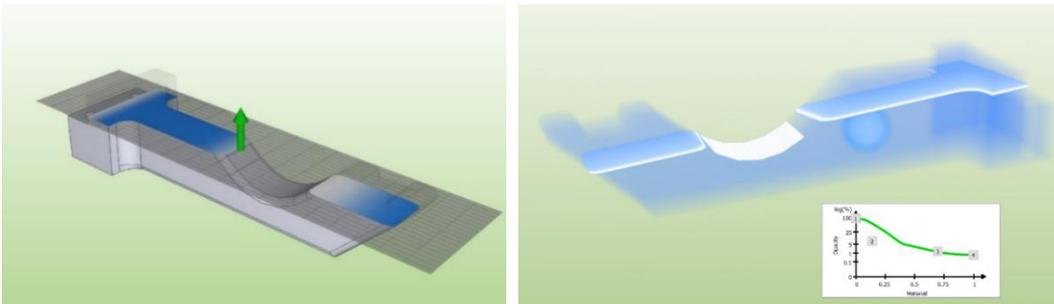


Abb. 2: links: Materialgradient in einem CAD-Modell (Schnitt durch das Bauteil, blau = steif, weiß = flexibel), rechts: Volumenvisualisierung des gradierten Bauteils

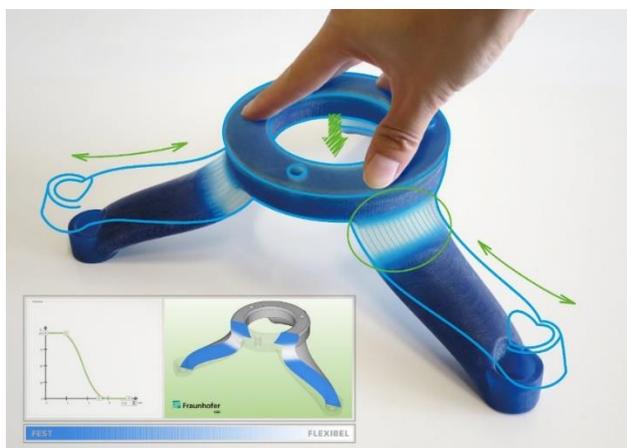


Abb. 3: FGM-Bauteil „Kamerastativelement“ mit Kombination aus hartem (blau) und elastischen Material (weiß) und gradierten Übergängen dazwischen.

## WIE UNTERSTÜTZT DAS MITTELSTAND-DIGITAL ZENTRUM DARMSTADT SIE DABEI?

Das Mittelstand-Digital Zentrum Darmstadt bietet zu diesem Thema zwei Präsenzworkshops an, die zum einen in das Thema einführen und mit einem Vertiefungsworkshop auf die Besonderheiten bei der software-technischen Umsetzung eingehen und ein Augenmerk auf die Modellierung der FGM legen.

Für KMUs, die bereits Erfahrungen in der additiven Fertigung haben, bieten wir eine Qualifizierungsmaßnahme an, in der wir auf die Besonderheiten und Möglichkeiten der FGM im 3D-Druck eingehen. Umgesetzte Anwendungsbeispiele zeigen den Teilnehmern, welche zusätzlichen Möglichkeiten in der Bauteilentwicklung dadurch entstehen.



### **Autor**

Prof. Dr.-Ing. André Stork ist Branchenleiter am Fraunhofer IGD und Professor an der Technischen Universität Darmstadt. Im Jahr 2023 übernahm er die Funktion des Branchenleiters Automotive. In dieser Rolle vertritt und koordiniert er die F&E im Zusammenhang mit der Automobil- und Fertigungsindustrie sowie den in diesem Bereich tätigen Softwareanbietern.

Seine Expertisen und wichtigsten Forschungsinteressen sind Geometriemodellierung und -verarbeitung, 2D/3D-Interaktion, Simulation und wissenschaftliche Visualisierung, sowie der 3D-Druck.

## **Das Mittelstand-Digital Zentrum Darmstadt**

Das Mittelstand-Digital Zentrum Darmstadt gehört zu Mittelstand-Digital. Mit Mittelstand-Digital unterstützt das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) die Digitalisierung in kleinen und mittleren Unternehmen und dem Handwerk. Sieben Partner aus Wissenschaft und Praxis bündeln ihr Digitalisierungs-Knowhow im Mittelstand-Digital Zentrum. Vertreten sind vier Institute der Technischen Universität Darmstadt, zwei Fraunhofer-Institute sowie die Industrie- und Handelskammer Darmstadt Rhein Main Neckar. Die kostenfreien, praxisorientierten Angebote decken vom Einstieg in das Thema Digitalisierung über Weiterbildung bis hin zur Umsetzung konkreter Lösungen ein breites Spektrum ab. [www.digitalzentrum-darmstadt.de](http://www.digitalzentrum-darmstadt.de)

### **Herausgeber**

IHK Darmstadt Rhein Main Neckar  
Mittelstand-Digital Zentrum Darmstadt  
Jonas Blöhbaum  
Rheinstraße 89 • 64295 Darmstadt  
jonas.bloehbaum@darmstadt.ihk.de  
August 2024

### **Bildnachweis**

Autorenportrait © Fraunhofer IGD Darmstadt  
alle Abbildungen © Fraunhofer IGD Darmstadt