

ROADMAP 2.0

# ADDITIV-GENERATIVE FERTIGUNG

## NEUE WELTEN DRUCKEN

IM RAHMEN DES BMBF-VORHABENS

Additiv-Generative Fertigung – Die 3D-Revolution  
zur Produktherstellung im Digitalzeitalter  
(AGENT-3D)

August 2015

 **AGENT3D**  
ADDITIV GENERATIVE FERTIGUNG

# 1 Strategische Schwerpunkte

## 1.1 Schwerpunkt Technologie

Zurzeit wird die generative Fertigung primär für die Herstellung von komplexen Einzelteilen, Prototypen und Kleinserien eingesetzt. In Anbetracht der technischen Entwicklung wird sie in Zukunft auch verstärkt in der Serienproduktion Anwendung finden, wo arbeits- und personalintensive Herstellungsprozesse verstärkt automatisiert werden können<sup>1</sup>. Der industrielle Einsatz steht zwar noch am Anfang, die revolutionären Vorteile machen diese Technologie jedoch bereits jetzt zu einem absoluten Zukunftsthema. Die generative Fertigung trägt wie kaum eine andere Technologie zur Flexibilisierung und zur Dezentralisierung von Produktionsprozessen bei und kann daher die Produktion tiefgreifend verändern.

In der „Roadmap 1.0“ wurden als größte Herausforderungen für die weitere Entwicklung der generativen Technologien die Entwicklung und Herstellung von geeigneten Materialien, die Erstellung von Design- und Konstruktionsrichtlinien, Produktivitätssteigerungen und die Sicherstellung der Prozess- und Bauteilqualität identifiziert. Im Moment sind die meisten Aktivitäten im AGENT-3D-Konsortium auf dem Gebiet der Prozess- und Materialentwicklung zu verzeichnen; mit steigendem technologischem Reifegrad der generativen Verfahren wird dieser Bereich weniger dominierend.

Auf Basis der Ist-Analyse wurden im Schwerpunkt Technologie drei Kerngebiete für Forschung und Entwicklung im Konsortium identifiziert (Abbildung 1-1: Roadmap für Schwerpunkt „Technologie“ (fett umrandete Handlungsfelder werden vorrangig im AGENT-3D\_Basis-Vorhaben bearbeitet)Abbildung 1-1). In konsortiumoffenen Workshops wurden für diese Kerngebiete Handlungsfelder herausgearbeitet, in denen exemplarische Technologien soweit entwickelt werden sollen, dass der Schritt zur Serienreife später

---

<sup>1</sup> EFI – Expertenkommission Forschung und Innovation (2015): Gutachten zu Forschung, Innovation und technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands 2015, Berlin: EFI.

von den Unternehmen alleine geschafft werden kann. Die Inhalte wurden weitgehend offen gestaltet, um die Integration neuer Ideen und Partner zu ermöglichen.

Um die Technologieakzeptanz bei den Projektpartnern zu erhöhen, werden zunächst „konventionell“ designte Produkte mit generativen Technologien gefertigt; im weiteren Verlauf verschiebt sich der Schwerpunkt hin zu angepassten neuen Designs und funktionsintegrierten Bauteilen, um die Vorteile der generativen Fertigung noch stärker auszuschöpfen.

Die aus den Handfeldern hervorgehenden Forschungsthemen werden vorrangig in Technologievorhaben bearbeitet.

### **Kerngebiet Werkstoffe**

Das Kerngebiet „Werkstoffe“ konzentriert sich auf die Entwicklung und Qualifizierung innovativer Werkstoffe und Werkstoffkombinationen sowie technologiespezifischer Werkstoffadaptionen, primär aus Metallen, aber auch Keramiken, Kunststoffen, Kompositen sowie Nanomaterialien. Ziel ist dabei die Sicherstellung spezifischer Produkteigenschaften sowie die Integration von weiteren Funktionalitäten in das Bauteil<sup>2</sup>.

Parallel dazu werden die Eigenschaften bereits eingesetzter Werkstoffe verbessert. Das gilt insbesondere hinsichtlich der Reproduzierbarkeit der mechanischen Werkstoffeigenschaften, des Alterungsverhaltens, der elektrischen Eigenschaften oder weiterer spezifischer Eigenschaften wie z. B. des Brandschutzes. Die Werkstoffproduktion muss mit dem vermehrten Einsatz von generativen Fertigungsverfahren Schritt halten, und maßgeschneiderte Werkstofflösungen entwickeln.

---

<sup>2</sup> Durch die generative Fertigung verschwimmen die Grenzen zwischen Bauteil und Baugruppe, alles wird zum Komposit.

## Schwerpunkt Technologie

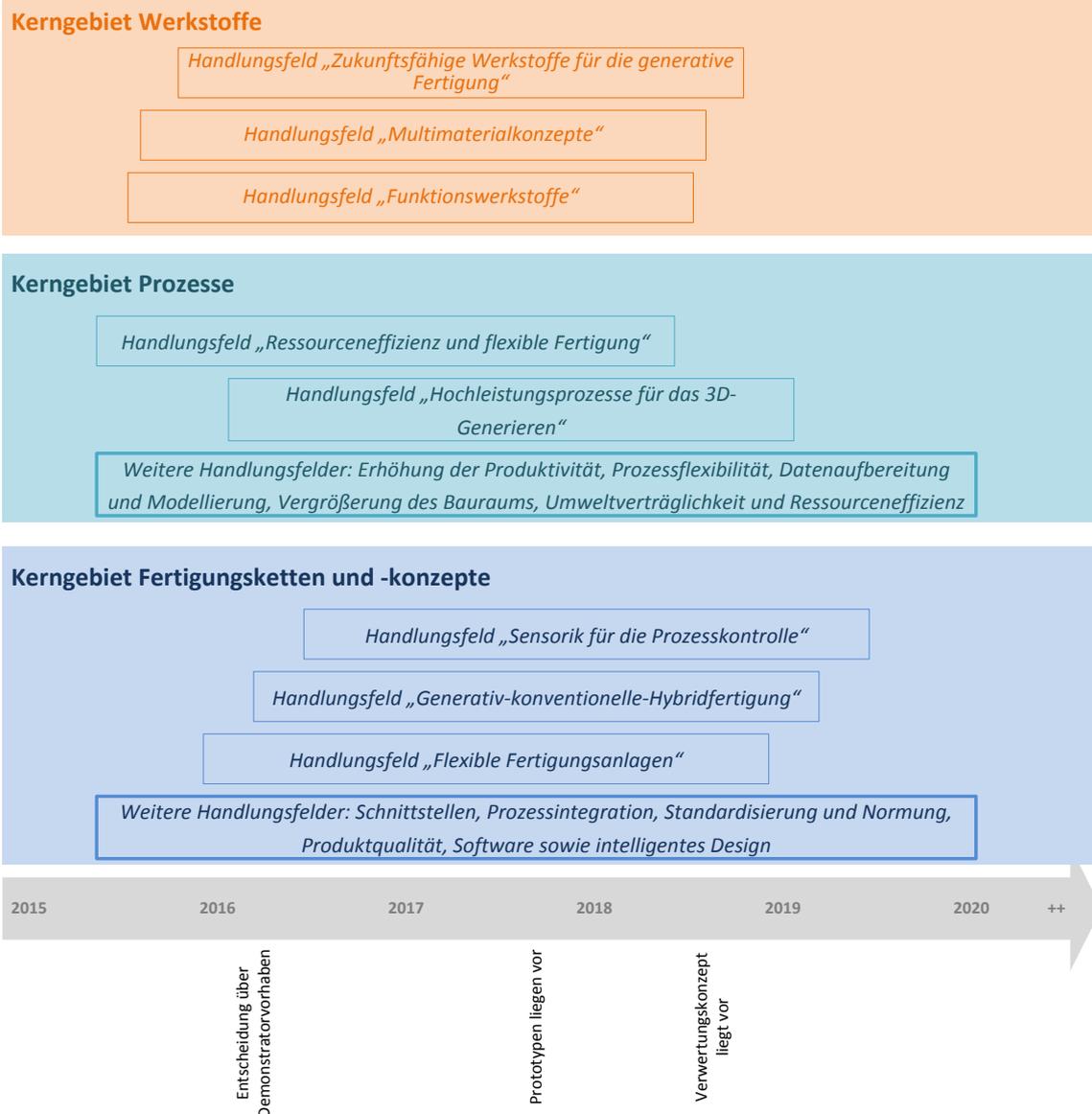


Abbildung 1-1: Roadmap für Schwerpunkt „Technologie“ (fett umrandete Handlungsfelder werden vorrangig im AGENT-3D\_Basis-Vorhaben bearbeitet)

Im Kerngebiet Werkstoffe wurden folgende zu bearbeitende Handlungsfelder identifiziert:

*Handlungsfeld „Zukunftsfähige Werkstoffe für die generative Fertigung“*

Das Potenzial der generativen Fertigung ist insbesondere im Feld der metallischen und keramischen Werkstoffe bisher nur in einem sehr engen Spektrum nachgewiesen worden. Eine stärkere Hebelwirkung in den Markt kann erzielt werden, wenn die Palette der Werkstoffe wesentlich erweitert wird. Dies betrifft zum einen die konventionellen Konstruktionswerkstoffe, die für generative Prozesse noch nicht qualifiziert und somit anwendbar sind (z.B. Spezialstähle und Al-Basis-Legierungen). Weiterhin sind Werkstoffe betroffen, deren Poten-

zial durch die generative Fertigung erst gezeigt werden kann (z. B. sehr spröde und/oder harte Werkstoffe, die schwer be- und verarbeitbar sind). Um diese Grenzen zu überwinden, sind die Generierung robuster Kenndaten für Prozess und Werkstoff, das Auffinden der Beziehungen zwischen Werkstoff, Prozess und Produkteigenschaften, der Nachweis der Wirtschaftlichkeit, bspw. in Bezug auf die Kosten des Ausgangsmaterials und dessen effiziente Nutzung, notwendig. Damit ist der Übergang vom derzeitigen Fokus auf Hochtechnologien (Luftfahrt, Medizintechnik) hin zur Durchdringung des Massenmarktes möglich, was zu revolutionär neuen Produktlösungen führen wird.

#### *Handlungsfeld „Multimaterialkonzepte“*

Mit konventionellen Fertigungsverfahren können Multimaterial-Bauteile nur durch Fügen von Einzelkomponenten hergestellt werden, was mit hohen Fertigungskosten, erhöhtem Systemgewicht und mitunter verringerter Lebensdauer verbunden ist. Darüber hinaus lässt sich eine Vielzahl von Anwendungen zum derzeitigen Stand mit konventionellen Fertigungsverfahren überhaupt nicht realisieren, da sie konzeptbedingt einen Multimaterialansatz in einer integrativen Baugruppe erfordern. Die generative Fertigung bietet die bisher nie dagewesene Möglichkeit zur Kombination völlig unterschiedlicher Werkstoffklassen in einem einzigen Bauteil bzw. die Umsetzung von dreidimensional über den gesamten Bauteilquerschnitt verlaufende Gradientenbereiche mit nur einem einzigen Fertigungsverfahren. Unumgänglich sind derartige Multimaterialkonzepte (Metall-Metall; Metall-Keramik; Keramik-Keramik) für die Hochtechnologiesektoren Luft- und Raumfahrt, Energie, Optik und Medizintechnik.

#### *Handlungsfeld „Funktionswerkstoffe“*

Sowohl generative Fertigungsverfahren als auch die Integration von Intelligenz in Produkte aller Art sind weltweit hochaktuelle Trends für vielversprechende Märkte der Zukunft. Unter Funktionsintegration versteht man die Ausstattung von Bauteilen mit zusätzlichen funktionellen Eigenschaften bereits in der Teilefertigung, nicht erst Montage, indem zum Beispiel Sensoren, elektronische Komponenten, eine EMV-Abschirmung oder Datenleitungen direkt in oder auf den Strukturwerkstoff integriert werden. Die Vorteile liegen in der Einsparung ganzer Bauteile und Montageschritte, verbunden mit reduzierten Kosten, verringertem Materialverbrauch und Gewicht. Eine solche Funktionsintegration erfordert jedoch neue Materialien, Designs sowie Fertigungstechnologien.

## Kerngebiet Prozesse

Trotz der rasanten Entwicklung der verschiedenen generativen Fertigungsverfahren in den letzten Jahren besteht aus industrieller Sicht weiterhin ein großer Handlungsbedarf. Die generativen Fertigungsverfahren müssen vor allem hinsichtlich der erforderlichen Rüstzeiten, der Datenaufbereitung, der Betriebskosten, Prozessstabilität, Produktivität und Reproduzierbarkeit verbessert werden. Optimierungspotenziale werden in der Erhöhung der Prozessgeschwindigkeit, der parallelen Verarbeitung mehrerer Werkstoffe in einem Bauteil, in einer Vergrößerung der Bauteildimensionen sowie in einer homogeneren Temperaturverteilung im Bauraum gesehen. Durch die Verbesserung der Oberflächenqualität wird die Notwendigkeit zur Nacharbeit von generativ gefertigten Bauteilen reduziert. Zur Steigerung der Prozesssicherheit ist eine Verbesserung der Bedienerfreundlichkeit erforderlich.

Mit generativen Fertigungsverfahren lassen sich Freiformflächen, Hinterschnitte und innen liegende Hohlräume realisieren. Produktentwickler und Konstrukteure müssen jedoch die speziellen Eigenschaften der generativen Fertigungsverfahren kennen, um deren Potenzial voll auszuschöpfen. Parallel müssen Softwaretools zur Realisierung von z. B. filigranen Strukturen mit Verästelungen, variablen Durchmessern und nicht periodischer Anordnung entwickelt werden, die beispielsweise bionisch optimierte Konstruktionen automatisch erzeugen.

### *Handlungsfeld „Ressourceneffizienz und flexible Fertigung“*

Die Ressourceneffizienz als auch die flexible Fertigung sind inhärente Eigenschaften der generativen Fertigung und werden konsequent in allen AGENT-3D-Vorhaben ausgenutzt, um generativ gefertigte Strukturen, Bauteile und Komponenten wirtschaftlich, material- und energieeffizient herstellen zu können. Mit dem Fokus auf den industriellen Einsatz der generativen Fertigungsverfahren ist es notwendig, Aspekte des Umweltmanagements, des Gesundheitsschutzes und der Arbeitssicherheit von Beginn an in die Arbeiten einzubeziehen. Nur mit diesem ganzheitlichen Ansatz kann die Implementierung innovativer Fertigungsverfahren in der Industrie wirkungsvoll und gezielt umgesetzt werden.

### *Handlungsfeld „Hochleistungsprozesse für das 3D-Generieren“*

Zur signifikanten Minderung der Herstellungszeit bei der generativen Fertigung ist eine Erhöhung der Aufbaugeschwindigkeit unumgänglich. Das Laser-Pulver- oder das Laser-Draht-Auftragschweißen ermöglichen derzeit die vergleichsweise höchsten Auftragsleistungen, sie gestatten einen Materialaufbau am Werkstück in alle Raumrichtungen, eine reale 3D-Aufbringung mit wenigen Stützstrukturen und die Fertigung von Bauteilen mit lokal unter-

schiedlicher Werkstoffzusammensetzung. Aktuelle Entwicklungen kostengünstiger und energieeffizienter Diodenlaser liefern für hohe Laserleistungen zu vergleichsweise geringen Investitions- und Betriebskosten. Um die Potenziale dieser Technologien zu erschließen ist es notwendig, den Anwendungsbereich der Verfahren auf qualitativ anspruchsvolle Strukturen zu überführen.

Als weitere Forschungsarbeiten zum Kerngebiet „Prozesse“ wurden die Erhöhung der Produktivität der Verfahren, die Prozessflexibilität (d.h. die Losgrößenunabhängigkeit), die Datenaufbereitung und Modellierung, die Vergrößerung des Bauraums sowie Umweltverträglichkeit und Ressourceneffizienz identifiziert. Grundlegende Aspekte werden im AGENT-3D\_Basis-Vorhaben adressiert; anwendungsnahe Themen können in weitere Technologievorhaben eingebracht werden.

### **Kerngebiet Fertigungsketten und -konzepte**

Die Prozesskette der generativen Fertigungsverfahren ist komplex und beinhaltet zahlreiche Wechselwirkungen. Sie erfordert Fachkenntnisse in unterschiedlichsten Disziplinen, da sie das Erstellen von 3D-CAD-Modellen, die Bauprozessvorbereitung, den physischen Bauprozess sowie die Nachprozesse und die Bauteilanwendung umfasst. Zur ganzheitlichen Optimierung und Weiterentwicklung der Verfahren werden Themen wie die Neuentwicklung von Austauschformaten, die Integration von Gestaltungsrichtlinien zur generativen Fertigung in den virtuellen Konstruktionsprozess, die Optimierung des Rüstprozesses, die Verbesserung der Prozessintegration zur durchgängigen Automatisierung sowie die Erkenntnisrückführung aus dem Bauprozess und der Nutzungsphase zurück in die virtuelle Produktentwicklung betrachtet.

#### *Handlungsfeld „Sensorik<sup>3</sup> für die Prozesskontrolle“*

Für die Qualitätssicherung generativ hergestellter Bauteile fehlen bislang anerkannte Standards. In den Richtlinien VDI 3405 und VDI 3405 Blatt 2 werden zwar Empfehlungen zur Qualitätssicherung gegeben, diese beschränken sich aber im Wesentlichen auf die Prüfung des Ausgangswerkstoffs und des fertigen Bauteils bzw. eines entsprechenden Probenkörpers.

---

<sup>3</sup> Unter Sensorik werden hier Verfahren und Systeme zur Prozessüberwachung verstanden

Die Möglichkeit der Überwachung des Prozesses wird nur als „grundsätzlich machbar“ erwähnt. Lösungsansätze für die Qualitätssicherung generativ hergestellter Bauteile werden derzeit überwiegend in Forschungs- und Entwicklungsvorhaben behandelt. Obwohl auch Hersteller von generativen Fertigungsanlagen erste Lösungen für die Prozessüberwachung und Qualitätssicherung integrieren, werden diese den Anforderungen der Nutzer nach einer Qualitätssicherung für die Serienfertigung noch nicht gerecht.

#### *Handlungsfeld „Generativ-konventionelle-Hybridfertigung“*

Die generative Fertigung ist gegenwärtig hauptsächlich als monolithische Bauteilfertigung gedacht und ausgeführt. Jedoch ist abzusehen, dass zukünftig die Vorteile der generativen Fertigung in bestimmten Bauteilen nur lokal benötigt werden. Um eine wirtschaftliche Herstellung dieser zukünftigen Produkte zu ermöglichen, bestehen vielversprechende Ansätze in der Kombination von konventionellen Fertigungstechnologien mit der generativen Fertigung bzw. mehrerer generativer Technologien. Insbesondere die Kombination konventionell hergestellter Halbzeuge bzw. Bauteile mit der generativen Fertigung als auch der *Generativ<sup>2</sup>*-Ansatz (Kombination zweier generativer Verfahren) werden das technische und wirtschaftliche Potenzial bei der generativen Herstellung von Produkten erheblich verbessern.

#### *Handlungsfeld „Flexible Fertigungsanlagen“*

Zur Integration der Vor- und Nachbehandlungsprozesse in die generative Fertigungsanlage ist auf Grund der material- und produktspezifischen Anforderungen eine modular aufgebaute Fertigungsanlage vorteilhaft. Zukünftige Anwendungen werden ein viel größeres Anforderungsspektrum aufweisen, das es bereits jetzt vorausschauend zu berücksichtigen gilt. Zur Erhöhung der Benutzerfreundlichkeit und der Flexibilität der Fertigungsanlage sollte die Integration eines intelligenten Assistenzsystems zur Prozessvorbereitung und -beherrschung als durchgängig digitale Softwareprozesskette vorgesehen werden.

Weitere Aktivitäten sind zu den Themen Schnittstellen, Prozessintegration, Standardisierung und Normung, Produktqualität, Software sowie intelligentes Design geplant. Diese werden in grundlegender Art in AGENT-3D\_Basis untersucht; für eine anwendungsnahe Umsetzung ist die Integration neuer Ideen und Partner möglich.

## 1.2 Schwerpunkt Produkt

Die generative Fertigung ermöglicht die unmittelbare Herstellung dreidimensionaler physischer Objekte ohne formgebende Werkzeuge. Anders als bei traditionellen subtraktiven oder formativen Verfahren werden Produkte zumeist durch das schichtweise Auftragen von Material gefertigt. Dies erlaubt eine flexible Herstellung beinahe beliebig komplexer Geometrien und innerer Strukturen und eine nahezu unbegrenzte gestalterische und konstruktive Freiheit im Umgang mit Werkstoffen. Die generative Fertigung ist in vielen produzierenden Branchen einsetzbar und damit geeignet, die Produktentwicklung durch schnelle Verfügbarkeit komplexer Prototypen zu beschleunigen und qualitativ zu verbessern. Die Reduzierung der erforderlichen Fertigungsschritte ermöglicht gegenüber traditionellen Fertigungsverfahren eine erhöhte Reaktionsgeschwindigkeit der Unternehmen auf die Marktanforderungen unter stark reduziertem Prozessaufwand. Die Zeiten für Produktentwicklung und Markteinführung lassen sich deutlich verkürzen und Unternehmen können flexibel auf kürzere Produktlebenszyklen reagieren.

Der weltweite jährliche Umsatz durch den Verkauf von generativ gefertigten Produkten und damit verbundenen Dienstleistungen betrug 2013 ca. 3 Milliarden US-Dollar, bis 2020 wird ein Anstieg auf 21 Mrd. US-Dollar erwartet<sup>4</sup>. Der Anteil deutscher Unternehmen am weltweiten Umsatz lag 2010 bei bis zu 20 %. Mit einem angenommenen jährlichen Umsatzwachstum von 15 % gehen andere Studien davon aus, dass in industriellen und medizinischen Anwendungen 2020 ein Wert von ca. 35 Mrd. Euro erreicht werden könnte<sup>5</sup>. Voraussetzung für ein derart starkes Wachstum sind allerdings stetige Innovationen sowie die Erschließung neuer Anwendungsgebiete.

Durch immer kostengünstigere Geräte werden zunehmend auch private Nutzer in die Lage versetzt, Produkte nicht nur zu modifizieren, sondern sie selbst zu entwerfen, zu fertigen

---

<sup>4</sup> Wohlers 2014

<sup>5</sup> Astor et al. „Marktperspektiven von 3D in industriellen Anwendungen“, Auftraggeber Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Prognos AG, 2013

und über das Internet zu vertreiben. Dies kann grundsätzlich zu einer Beteiligung neuer Akteure und einem vermehrten Eintritt in den Markt führen<sup>6</sup>.

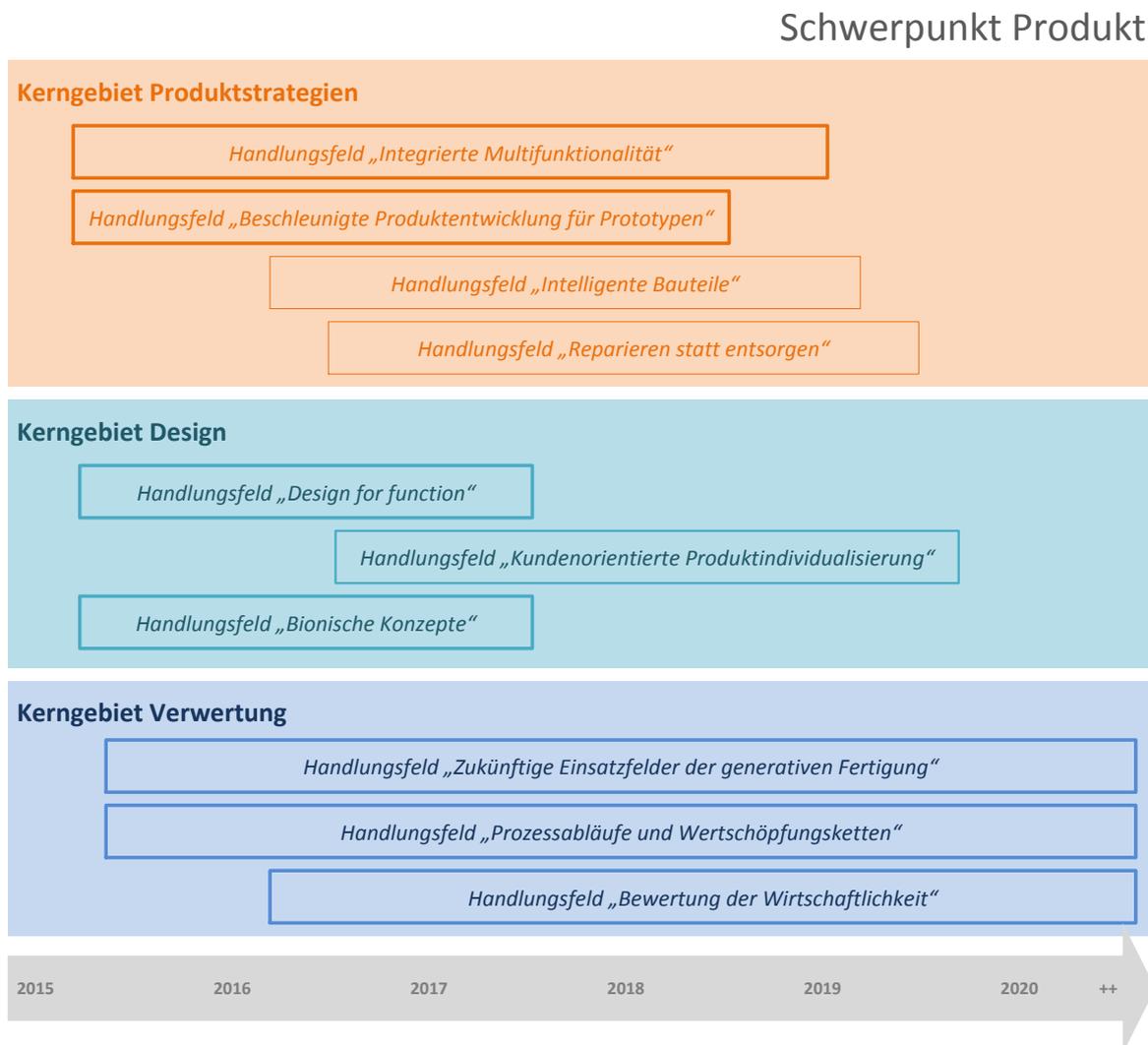


Abbildung 1-2: AGENT-3D-Produkt-Roadmap (fett umrandete Handlungsfelder werden vorrangig im AGENT-3D\_Basis-Vorhaben bearbeitet)

Basierend auf einer umfassenden Trend- und Marktanalyse<sup>7</sup>, Workshops und Diskussionen mit den Partnern des Konsortiums sowie unter Einbeziehung interdisziplinärer Expertise wurden drei Kerngebiete für den Schwerpunkt „Produkt“ erarbeitet, die für alle AGENT-3D-Vorhaben relevant sind (Abbildung 1-2). Diese Themen werden in AGENT-3D\_Basis und

<sup>6</sup> EFI – Expertenkommission Forschung und Innovation (2015): Gutachten zu Forschung, Innovation und technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands 2015, Berlin: EFI

<sup>7</sup> Siehe Roadmap 1.0, Ist-Analyse Produkte

AGENT-3D\_Strategie grundlegend bearbeitet, vom Verein unterstützt und in Technologievorhaben konkret umgesetzt.

## Kerngebiet Produktstrategien

Die Individualisierung der Produkte ist einer der Treiber der vierten industriellen Revolution. Generative Fertigungsverfahren helfen, die Individualisierung flexibler zu gestalten. Neue Produkte werden heute durch Erfolgsfaktoren wie Verkürzung der Entwicklungszeit, Kostensenkung, Steigerung der Flexibilität und Qualitätssteigerung bewertet. Die Faktoren sind nicht unabhängig voneinander zu betrachten, sondern müssen ganzheitlich zu einer Strategie verknüpft werden. Die im AGENT-3D-Vorhaben anvisierten Branchen und Produkte sind in Abbildung 1-3 dargestellt.

### *Handlungsfeld „Beschleunigte Produktentwicklung für Prototypen“*

Die Entwicklungsphase neuer Produkte lässt sich durch die generative Fertigung drastisch beschleunigen, da Prototypen innerhalb weniger Tage gefertigt werden können. Dabei sind die Nutzung neuartiger Konstruktionsrichtlinien sowie die Grenzen der eingesetzten Fertigungsverfahren zu berücksichtigen.

### *Handlungsfeld „Intelligente Bauteile/Integrierte Multifunktionalität“*

Durch die generative Verarbeitung von „Smart Materials“ bzw. durch die innovative Sensoringintegration in Komponenten lassen sich intelligente Bauteile mit integrierten Multifunktionalitäten erzeugen. Möglichkeiten und Grenzen generativ gefertigter Strukturen mit neuartigen konstruktiven und/oder elektronischen Funktionen werden untersucht. Herausforderungen hierbei sind die Multimaterialverarbeitung sowie der teilweise geringe technologische Reifegrad der einzusetzenden Verfahren.

### *Handlungsfeld „Reparieren statt entsorgen“*

Die generative Fertigung bietet ein hohes Potenzial zur Reparatur und Ersatzteilerfertigung hochbeanspruchter und komplexer Bauteile. Durch die Steigerung des Automatisierungsgrades wird eine breitere und qualitätssichere Anwendung des Verfahrens ermöglicht. Die Betrachtung der Reparaturprozesskette unter rechtlichen Aspekten hinsichtlich Produkthaftung liegt im gegenwärtigen Stand der Technik nicht vor und stellt ein Alleinstellungsmerkmal dar.



Abbildung 1-3: Auswahl von anvisierten Branchen und Produkten

## Kerngebiet Design

Im Kerngebiet „Design“ werden Möglichkeiten und Grenzen neuartiger Gestaltungskonzepte beziehungsweise die Vertiefung von derzeitigen Nischenstrategien diskutiert. Aufgabe wird es sein, alternative Lösungen und Ansätze für bestehende und zukünftige Problemfelder bezüglich der konstruktiven Gestaltung von Bauteilen und deren Funktion aufzufinden.

Die klassische Herangehensweise an eine konstruktive Aufgabe ist in jedem Fall mit den Möglichkeiten der generativen Fertigung kompatibel, aber ökonomisch und technologisch nicht in jedem Falle sinnvoll. Geeignete (Software-) Werkzeuge zur Unterstützung des Gestaltungsprozesses sind bisher nur in Ansätzen vorzufinden und existieren als Insellösungen. Zunehmend gestaltet sich ein fließender Übergang beziehungsweise ein Zusammenwachsen von Design, Konstruktion und Fertigung. Eine klassische Rollenverteilung vom Gestalter zum Technologen verschwindet somit. Zum einen muss dadurch ein Umdenken bei der Konstruktion und Gestaltung initiiert und zum anderen ein besseres Technologieverständnis erarbeitet und vermittelt werden. Die generative Fertigung bietet umfangreiche Möglichkeiten der harmonisierten Verknüpfung von Optik und Funktion. Für alle diese wichtigen technologischen Schritte ist es notwendig die entsprechenden Rahmenbedingungen abzustechen, Richtlinien zu erarbeiten, Schnittstellen zu überwinden, Softwarewerkzeuge zu erarbeiten und die Ausbildung der Konstrukteure vorzunehmen, was den Kern der Arbeiten widerspiegelt.

### *Handlungsfeld „Design for function“*

Die Konstruktion von Bauteilen und Baugruppen leitet sich aus der Funktion ab, die sie zu erfüllen haben. Dabei besteht eine enge Wechselwirkung zwischen der Bauteilfunktion, der

Geometrie, dem eingesetzten Material und der anzuwendenden Fertigungstechnologie. Diese Zusammenhänge wurden bisher nicht umfassend für generative Verfahren erforscht.

#### *Handlungsfeld „Kundenorientierte Produktindividualisierung“*

Es werden immer individuellere Produkte gefordert; generative Herstellungsmöglichkeiten eröffnen neue Möglichkeiten der Produktentwicklung. Dies führt neben kurzen Produktinnovationszyklen auch zu einer geringen Standardisierung der Bauteile sowie geringen Losgrößen. Dabei sind neben den technologischen Fragestellungen auch gesellschaftliche sowie rechtliche Rahmenbedingungen zu untersuchen.

#### *Handlungsfeld „Bionische Konzepte“*

Aktuelle Entwicklungsherausforderungen sind die Definition von Konstruktionsrichtlinien und die Schaffung von Rahmenbedingungen zur Implementierung von bionisch optimierten Softwaretools in Bezug auf Design und Konstruktion.

### **Kerngebiet Verwertung**

Das von allen AGENT-3D-Partnern als sehr wichtig eingeschätzte Kerngebiet der „Verwertung“ umfasst die Themen potenzieller Einsatzfelder der generativen Fertigung, der Prozessabläufe und Wertschöpfungsketten sowie der Bewertung der Wirtschaftlichkeit in enger Zusammenarbeit mit dem Schwerpunkt „Produkt“.

#### *Handlungsfeld „Zukünftige Einsatzfelder der generativen Fertigung“*

Die Analyse möglicher zukünftiger Einsatzfelder der generativen Fertigung erfolgt durch die Entwicklung von Zukunftsszenarien, ergänzt durch eine Trendanalyse. Zur Orientierung dient hier die Erkenntnis, dass das Verhalten eines Systems nur dann verstanden werden kann, wenn es gedanklich in Verbindung mit seiner Umwelt, als Teil eines umfassenderen Systems gesehen wird. Das geplante Vorgehen schließt in diesem Sinne eine erweiterte Umfeldanalyse sowie eine Analyse relevanter (globaler) Trends ein. Darüber hinaus werden unterschiedliche Anspruchsgruppen (Stakeholder) identifiziert und in Form von partizipativen Planungsworkshops in die Erstellung und Verifizierung von Zukunftsszenarien einbezogen.

#### *Handlungsfeld „Prozessabläufe und Wertschöpfungsketten“*

Die Umfeldanalyse und die Beteiligung von Stakeholdern und Experten in Form von Workshops dienen der Erhebung relevanter Daten, die dann methodisch kontrolliert zu Zukunftsszenarien verdichtet werden. Deren Auswertung fließt in die Weiterentwicklung der Roadmap ein und dient als Grundlage für die Beschreibung möglicher Wertschöpfungspartner-

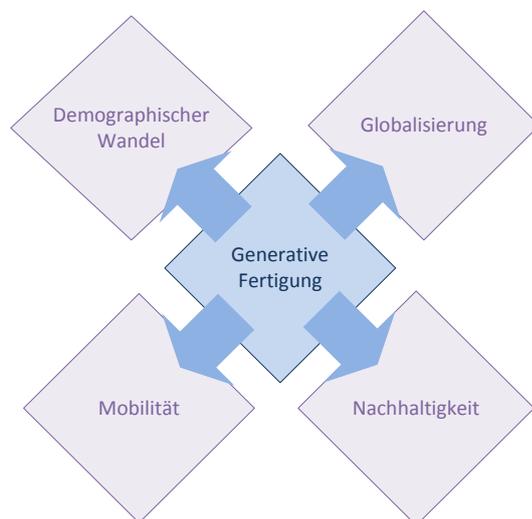
schaften. Durch die ganzheitliche Betrachtung und durch die umfangreiche Informationsbasis können absehbare Entwicklungstrends und mögliche Zukunftspfade für Einsatzfelder und Wertschöpfungsnetzwerke der generativen Fertigung berücksichtigt werden.

#### *Handlungsfeld „Bewertung der Wirtschaftlichkeit“*

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit generativer Fertigungstechnologien erfolgt eine verfahrensübergreifende Identifikation kostenkritischer Parameter, ein Kostenvergleich generativer Verfahren mit konventionellen Prozessketten sowie die Betrachtung der Kombination verschiedener generativer Verfahren sowie von hybriden Fertigungs- und Bauteilkonzepten zur Kombination generativer mit konventionellen Fertigungstechnologien mit dem Fokus auf Herstellbarkeit, Herstellungsdauer und -kosten.

### 1.3 Schwerpunkt Gesellschaft

Trends in der Gesellschaft sind oft verbunden mit neuen Technologien und Herstellungsverfahren. Aktuelle Megatrends, also besonders tiefgreifend und nachhaltig wirkende Trends, sind der demographische Wandel, die Globalisierung, die Mobilität und das Thema Nachhaltigkeit



**Abbildung 1-4: Beitrag der generativen Fertigung zu den aktuellen Megatrends der Gesellschaft**

(Abbildung 3-5). Ein weiterer Trend ist die Individualisierung, vor allem für die Hersteller von Konsumgütern. Die genannten Trends sind miteinander verknüpft und beeinflussen sich gegenseitig. Die generativen Fertigungsverfahren werden zukünftig eine bedeutende Rolle spielen, da in allen Bereichen der Industrie Zeit und Kosten zur Produktentstehung (time-to-market) immer wichtiger werden. Generative Fertigungsverfahren besitzen auch eine große gesellschaftliche Bedeutung hinsichtlich der Ressourcenschonung<sup>8</sup>, des

<sup>8</sup> Diese effiziente Nutzung von Ressourcen kann durch hohe Materialeffizienz, durch die Umsetzung neuer Logistikkonzepte mit verteilten Produktionsstätten (reduziertere Transportbedarf von Endprodukte) oder durch die Herstellung von topologie-optimierten Strukturen für Leichtbauanwendungen

Klima- und Umweltschutzes, der Bildung und der Produktionstechnik der Zukunft, sowohl in Hightech-Branchen als auch zunehmend im Verbrauchermarkt. Erforderlich ist daher eine Sichtweise, bei der Material-, Energie-, Umwelt- und Technologieaspekte integriert betrachtet werden (Abbildung 1-5).

Die Möglichkeiten der generativen Fertigungstechnik zur Einflussnahme auf verschiedenste Bereiche der Gesellschaft bestehen aus neuen Arten der kundenspezifischen Produktindividualisierung, der Integration bionischer Designprinzipien, der dezentralen Fertigung nach Bedarf und damit verbunden der Schaffung lokaler Versorgungsstrategien sowie der Entwicklung neuer Geschäfts- und Wertschöpfungsmodelle. Darüber hinaus profitiert die Gesellschaft von schnelleren Innovationszyklen und niedrigeren Markteintrittsbarrieren für Kleinstunternehmer. 3D-Drucktechnologien ermöglichen jedem Einzelnen innovative Gegenstände zu erdenken und umzusetzen. Open Source- und Open Innovation- Ansätze, die bislang vor allem im Softwarebereich verbreitet sind, lassen sich so auch auf die Entwicklung und Optimierung von Alltagsgegenständen übertragen. Weiterhin ermöglichen 3D-Druckverfahren auch die Anfertigung von nicht mehr verfügbaren Ersatzteilen, so dass defekte Geräte und Gebrauchsgüter länger genutzt werden können<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> Stand und Perspektiven der Erforschung und des Einsatzes von 3D-Druckern, Deutscher Bundestag, 17/13734, 06.2013

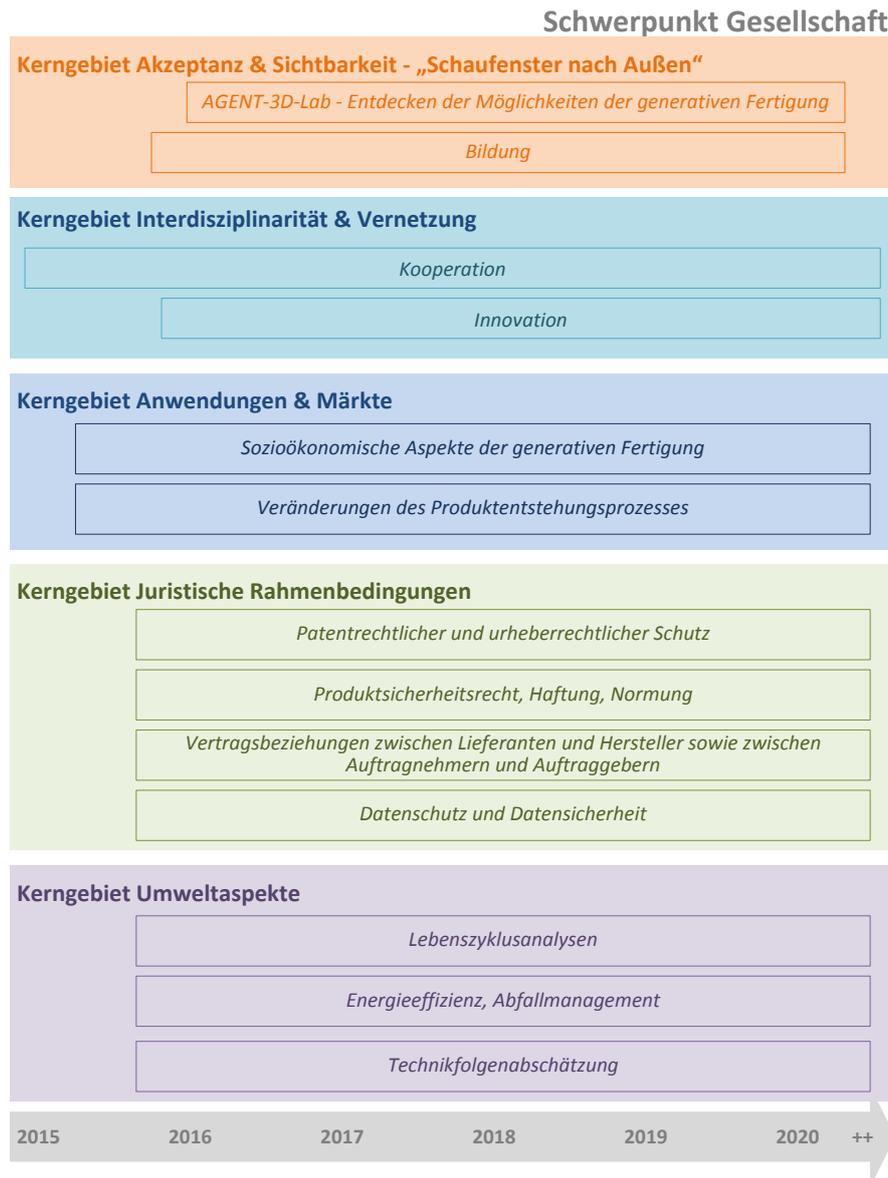


Abbildung 1-5: Roadmap für den AGENT-3D-Schwerpunkt „Gesellschaft“

### Kerngebiet Akzeptanz & Sichtbarkeit - „Schaufenster nach Außen“

Das Kerngebiet „Akzeptanz und Sichtbarkeit“ beinhaltet die gesamte Kommunikation des AGENT-3D-Konsortiums mit der „Außenwelt“ sowie die interne Kommunikation im Konsortium. Dies beinhaltet die Vorstellung der Möglichkeiten der generativen Fertigung für Laien und professionelle Anwender, eine Erhöhung der Durchlässigkeit von Wissen zwischen den Akteuren in Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft, Bildung und Ausbildung und die Anbindung an B2C-Netzwerke. Zielgruppen für die Außendarstellung sind Schüler, Auszubildende, Studenten, Konsumenten, Verbände, die BMBF-Expertenplattform sowie die interessier-

te Öffentlichkeit. Die Vermittlung des AGENT-3D-Leitbildes nach innen und außen erfolgt federführend durch den Verein.

Die Plattform zur internen Kommunikation dient als Arbeitsebene zum geschützten fachlichen Austausch der Partner, zur Bereitstellung von Dokumenten sowie zur Koordinierung aller Aktivitäten in AGENT-3D.

#### *AGENT-3D-Lab - Entdecken der Möglichkeiten der generativen Fertigung*

Um sowohl interessierten Laien als auch professionellen Anwendern die Möglichkeit zur Erkundung der Potenziale der generativen Fertigungsverfahren zu bieten, werden regelmäßige AGENT-3D-Infotage für die Fab-Lab, Maker- und Design-Szene sowie Workshops im Makerspace der TU Dresden durchgeführt, eine mobile sowie eine virtuelle Ausstellung mit Demonstratoren konzipiert, interaktive Konstruktionsmöglichkeiten über die AGENT-3D-Internetpräsentation angeboten sowie für professionelle Anwender das Internationale Symposium "Additive Manufacturing" in Dresden organisiert.

Neue Funktionsmodelle und Demonstratoren aus interdisziplinärer Zusammenarbeit sowie aus Designwettbewerben werden zur anschaulichen Kommunikation eingesetzt. Kreativitäts- und Ideenworkshops, eine Wander-Abschlussausstellung für Universitäten, Museen und Institute sowie begleitende Symposien, Anwenderworkshops, Konferenzen und wissenschaftliche Publikationen gehören zu den Methoden für eine erfolgreiche Kommunikation. Auch die Erstellung eines „AGENT-3D-Wiki“ als freies Onlinelexikon trägt zur Erhöhung der Durchlässigkeit von Wissens-elementen zwischen den Akteuren aus Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft bei.

#### *Bildung*

Die Nutzung von generativen Fertigungsverfahren liefert auch in der Bildung und Ausbildung neue, wichtige Impulse. Die Verfahren können wichtige, innovationsrelevante Kompetenzen vermitteln und die Begeisterung dafür wecken. Lernende werden an ein neues, designorientiertes Denken herangeführt. Durch Experimente und praktische Erfahrungen wird ein besseres Verständnis speziell in den Bereichen Mathematik, Naturwissenschaften, Konstruktion sowie Kunst entwickelt. Dazu ist durch AGENT-3D eine fortlaufende Analyse möglicher Bildungsformate für die Bereiche Schule, Ausbildung, Hochschule, Weiterbildung, die Aufbereitung von Inhalten für Schulen und Schüler, die Erarbeitung von Themen für die berufliche Bildung sowie die Weiterbildung für Lehrende geplant. Zur Gewinnung von Fachkräften für nachhaltiges Wachstum der generativen Fertigung wird eine Integration der erarbeiteten

Ergebnisse in akademische Studiengänge (Grundlagenfächer und Vertiefungsrichtungen) angestrebt sowie ein begleiteter Wissenstransfer zu den beteiligten KMU durch Informationsveranstaltungen, Tagungen, Messen, Workshops sowie durch „Transfer durch Köpfe“ in Form von Werkstudenten, Praktikanten, studentischen Abschlussarbeiten, Absolventen etc. vorbereitet. Dazu gehört auch die Entwicklung und Bereitstellung eines Experimentier-Koffers durch den Verein, um die Aktivitäten im Bildungsbereich zu unterstützen.

Gebührenfinanzierte Seminare und Fortbildungen zum Thema generative Fertigung zählen ebenfalls zu den Aktivitäten im Bildungsbereich. Die dazu notwendigen Akteure, d.h. Wissensträger (z. B. Fraunhofer-Institute) und Wissensvermittler (z. B. TU, HTWM, FH Jena) sind im Konsortium vertreten. Durch die Etablierung einer Arbeitsgruppe „Bildung“ im Verein AGENT-3D e. V. wird zur kontinuierlichen Weiterentwicklung des Konzepts beigetragen.

## **Kerngebiet Interdisziplinarität & Vernetzung**

### *Kooperation*

Eine vertrauensvolle Zusammenarbeit des interdisziplinär zusammengesetzten großen Konsortiums kann nur durch die gemeinsame Entwicklung und das „Leben“ einer AGENT-3D-Kooperationskultur geschaffen werden. Die umfasst nicht nur die Definition von Verhaltensregeln und Handlungsprinzipien innerhalb von AGENT-3D, sondern auch den Aufbau von Vertrauen zwischen Partnern durch das Schaffen eines Bewusstseins auf dem Weg dahin. Das AGENT-3D-Kooperationsleitbild bietet eine Anleitung zur Vermeidung von Konflikten sowie zur Lösung von Konflikten durch Verweis auf gemeinsam erarbeitete Regeln. Im Zuge der Entwicklung des Konsortiums unterliegen diese Regeln einer natürlichen Dynamik, die durch rekursive Kommunikationsprozesse zwischen den Vorhaben und dem Verein gesteuert werden muss.

### *Innovation*

Die innovative Kraft des AGENT-3D-Konsortiums ergibt sich aus der Bündelung verschiedenster Kompetenzen von unterschiedlichen Werkstoffklassen, Branchen und Disziplinen. Durch die eingespielten Kooperationskulturen der Akteure bilden sich dabei viele Netzwerke, die sich aufgrund der Multidisziplinarität nicht oder nur wenig überlappen und dabei „strukturel-

le Löcher“<sup>10</sup> ausbilden. Dies führt dazu, dass der Informationsfluss zwischen den Netzwerken sehr gering ausfällt. Werden diese Löcher nun durch eine vertrauensvolle Zusammenarbeit zwischen den Partnern überwunden, so birgt dies durch neue Sichtweisen und Informationen Vorteile für die Innovationsfähigkeit des Gesamtkonsortiums.

Das Aufbrechen eingespielter Netzwerke ist durchaus mit Risiken verbunden (z. B. Abfluss von Wissen), die durch die Entwicklung eines Gesamt-Netzwerks minimiert werden können. Dafür ist es jedoch erforderlich, den Partnern den Nutzen dieses Innovationsnetzwerks greifbar zu machen. Eine wesentliche Rolle kommt dabei dem Innovationsmanagement des Vereins AGENT-3D e. V. (vertreten durch den Vorstand), den Einzelvorhaben sowie den Kreativitätsworkshops zu, die die Basis für den kollektiven Lernprozess im Konsortium bilden. Die entwickelte Kooperations- und Innovationsstrategie besteht aus den Komponenten des AGENT-3D-Leitbildes, den Regeln für die Kooperation im Konsortium sowie dem Integrationskonzept für neue Partner.

Die IP-Strategie ist für den Verein von großer Bedeutung, da im globalen Innovationswettbewerb das Management von geistigem Eigentum an Bedeutung gewinnt. Der Verein möchte allen Vereinsmitgliedern und Partnern einen übergreifenden Wissensstand vermitteln und Ergebnisse aus den Vorhaben der Öffentlichkeit in Form einer Technologie-Plattform zur Verwertung innovativer Technologien und Produkte zugänglich machen. Dazu unterstützt er als Schnittstelle aller IP-Aktivitäten die Mitglieder hinsichtlich der Organisation, Information, Kooperation und der Kommunikation geistigen Eigentums.

Zur Aktualisierung der IP-Strategie sowie der Stärkung des AGENT-3D-Innovationsnetzwerks wurde im Vorhaben AGENT-3D\_Innovationsmanagement die Position eines Netzwerkmanagers beantragt.

## **Kerngebiet Anwendungen & Märkte**

In diesem Kerngebiet werden sozioökonomische Aspekte der generativen Fertigung wie z.B. Globalisierung, Technikakzeptanz, digitaler Konsum, die Mensch-Maschine-Interaktion, Handelsprotektionismus und neue Geschäftsmodelle studiert. Daneben sind auch Arbeiten zur Untersuchung der mit der generativen Fertigung verbundenen Veränderungen des Pro-

---

<sup>10</sup> Nach Burt, Ronald S.: *Structural holes - The social structure of competition*. Cambridge 1992

duktentstehungsprozesses, wie das Auftreten von Designern oder Produktentwicklern als Produzenten und/oder Konsumenten, zur kundenorientierten Produktindividualisierung sowie zur Entwicklung eines globalen B2B- und B2C-Kollaborationsmodells geplant. Dabei wird auf die Expertise von Zukunftsforschern sowie die praktischen Erfahrungen von Start-ups und Gründerzentren zurückgegriffen.

### **Kerngebiet Juristische Rahmenbedingungen**

Die rechtlichen Grundlagen für die Einführung der generativen Fertigungstechnologie werden in AGENT-3D erstmals umfassend eruiert und aufgearbeitet. Aufgabe wird es sein, anhand der gegenwärtigen Rechtslage zu ermitteln, wo juristische Probleme in der Praxis liegen können und wie mit diesen umzugehen ist, um am Markt handlungsfähig sein zu können. Hierbei ist im Besonderen eine enge Verknüpfung zu den Technologievorhaben nötig, um möglichst praxisorientiert juristische Fragestellungen beantworten zu können. Themen sind u. a. der patentrechtliche und urheberrechtliche Schutz, das Produktsicherheitsrecht und die Normung, Haftungsfragen, die Vertragsbeziehungen zwischen Lieferanten und Hersteller sowie zwischen Auftragnehmern und Auftraggebern sowie der Themenkomplex Datenschutz und Datensicherheit.

Da die generative Fertigung in der juristischen Praxis noch in den Anfängen steckt, fehlt es vor allem an konkreten praktischen Sachverhalten, an welchen die juristische Bewertung ansetzen kann. Darüber hinaus besteht ein erhebliches Informationsdefizit in Bezug auf mögliche rechtliche Implikationen auf Seiten der Anwender. Um diesen Umständen zum beiderseitigen Vorteil abzuhelpfen, ist eine zentrale interdisziplinäre *„Informationsstelle 3D-Druck und Recht“* für Unternehmen und Interessierte aus dem Projektkonsortium sowie auch außerhalb des Konsortiums tätige Unternehmen an der TU Berlin einzurichten. Diese wäre die erste ihrer Art in Deutschland, so dass hierin zugleich ein Alleinstellungsmerkmal zu sehen ist. Darüber hinaus würde so die juristische Bewertung konkret an Sachverhalten ansetzen und nicht abstrakt bleiben.

### **Kerngebiet Umweltaspekte**

Neben der Betrachtung der potenziellen Vorteile der generativen Fertigung sollten auch die kritischen Aspekte evaluiert werden.

Im Allgemeinen wird die generative Fertigung aufgrund der dezentralen Fertigung und der effizienten Materialausnutzung (im Vergleich zu subtraktiven Verfahren) als umweltfreundliche Technologie angesehen. Für die Bewertung des Umwelteinflusses eines Produkts muss jedoch der gesamte Lebenszyklus betrachtet werden. Umfassende wissenschaftliche Studien zu diesem Thema gibt es bisher nicht.

Einen weit größeren Einfluss als der Transport hat z. B. das eingesetzte Material oder die zur (konventionellen oder generativen) Fertigung benötigte Energie<sup>11</sup>. Andererseits kann die Nutzung gewichtsoptimierter Bauteile in der Luftfahrt oder im Automobilbau zu deutlichen Einsparungen an Treibstoff während der gesamten Lebensdauer des Produkts führen.

Auch das Abfallmanagement kann eine große Rolle bei der Bewertung der Umweltrelevanz der generativen Fertigung spielen. Speziell für Multimaterial-Komponenten ist eine klare Kennzeichnung für das Recycling erforderlich. Bei der Betrachtung des Materialverbrauchs bei der Herstellung muss die Recyclingfähigkeit der Ausgangsstoffe berücksichtigt werden.

Im Konsortium sollen speziell die Themen der Umweltaspekte, des Arbeitsschutzes, der Technikfolgenabschätzung und der Technologieakzeptanz für die generative Fertigung untersucht werden. In Kombination mit den Ergebnissen der ersten Umsetzungsvorhaben lassen sich daraus strategische Themen für zukünftige Technologievorhaben ableiten (Welche Materialien können verwendet werden und wie ist deren Umweltbilanz? Umwelteffekte der Produktindividualisierung?). Auch der Einfluss auf die Gesellschaft und die Gesetzgebung hinsichtlich der Verknüpfung von Normung mit dem Umweltaspekt (z. B. die Einführung eines Umweltlabels für Anlagen analog zur Energieeffizienz soll untersucht und durch Mitarbeit in entsprechenden Gremien beeinflusst werden.

---

<sup>11</sup> 3D Printing – Risks and Opportunities, Öko-Institut e. V., Kontakt Dr. Hartmut Stahl, Dezember 2013

Gefördert im Rahmen des Programms ‚Zwanzig20‘



durch

[www.agent-3d.de](http://www.agent-3d.de)