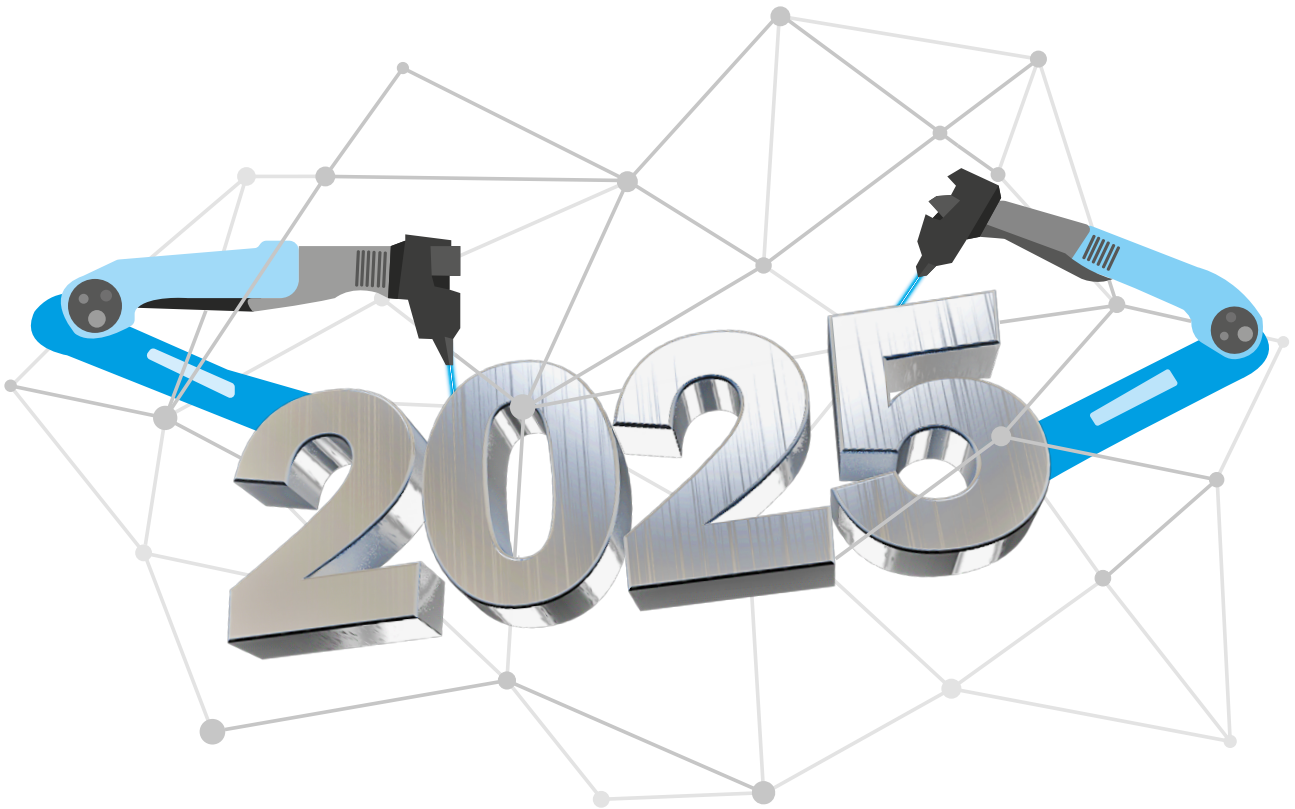


DREI ZUKUNFTSSZENARIEN

Additive Fertigung im Jahr 2025 in Deutschland



Additive Fertigung im Jahr 2025 in Deutschland

Was erwartet Sie in dieser Broschüre?

Die additive Fertigung (englisch „Additive Manufacturing“, kurz AM) hat das Potential, die Produktentwicklung und -herstellung zu revolutionieren. Die Vorteile sind zahlreich: dazu gehören beispielsweise neue Designfreiheit oder funktionsangepasste, individualisierte Produkte, die nachfrageorientiert, zentral oder dezentral hergestellt werden können.

Unternehmen können sich Vorteile durch den Wegfall von Lager- und Transportkosten verschaffen und gewinnen an Flexibilität und Zeit. Auch der Produktionsstandort Deutschland könnte mit großer Wahrscheinlichkeit von den unternehmerischen Entscheidungen für eine Rückverlagerung der Herstellung profitieren.

Doch während für Erstausrüster die Vorteile häufig auf der Hand liegen, zögern kleine und mittlere Unternehmen (KMU) oft, bevor sie in Anlagen oder in Kompetenzaufbau investieren.

Zukunftsszenarien können Unternehmen helfen, strategische Entscheidungen für die Zukunft zu treffen. Sie ermöglichen eine systematische und methodisch fundierte Beschäftigung mit den Beziehungen und Wechselwirkungen technologischer, gesellschaftlicher, wirtschaftlicher oder politischer Faktoren. Dadurch zeigen sie grundsätzlich mögliche Entwicklungen im Umfeld und innerhalb des Unternehmens auf.

In diesem Kontext bietet die Broschüre kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) Orientierungswissen, das sich aus drei Zukunftsszenarien für die Technologieentwicklung, für das wirtschaftliche und gesellschaftliche Umfeld im Jahr 2025 ableiten lässt:

Szenario 1 – Revolution aus der Nische

Szenario 2 – Vernetzte digitale Fertigung gelingt

Szenario 3 – Anlagenanbieter zunehmend unter Druck

Die drei Zukunftsszenarien geben überdies auch Hinweise für mögliche Änderungen in der Wertschöpfungsorganisation.

Die Zukunftsszenarien hat das Fraunhofer Zentrum für Internationales Management und Wissensökonomie IMW, gemeinsam mit der Fachhochschule Salzburg und dem Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK, im Rahmen des Projekts „AGENT-3D Basis – Rahmenbedingungen für die additiv-generative Fertigung“ erstellt. Das Projekt ist Teil des Vorhabens „AGENT-3D“, in dem Forschungseinrichtungen, Großindustrie und KMU eine strategische Allianz für Forschung, Innovation und Wachstum im Bereich der additiven Fertigung bilden. Es ist eines der zehn ausgewählten Konsortien des BMBF-Förderprogramms „Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation“, das auf die Stärkung der KMU-Landschaft in den neuen Bundesländern zielt.



GEFÖRDERT VOM

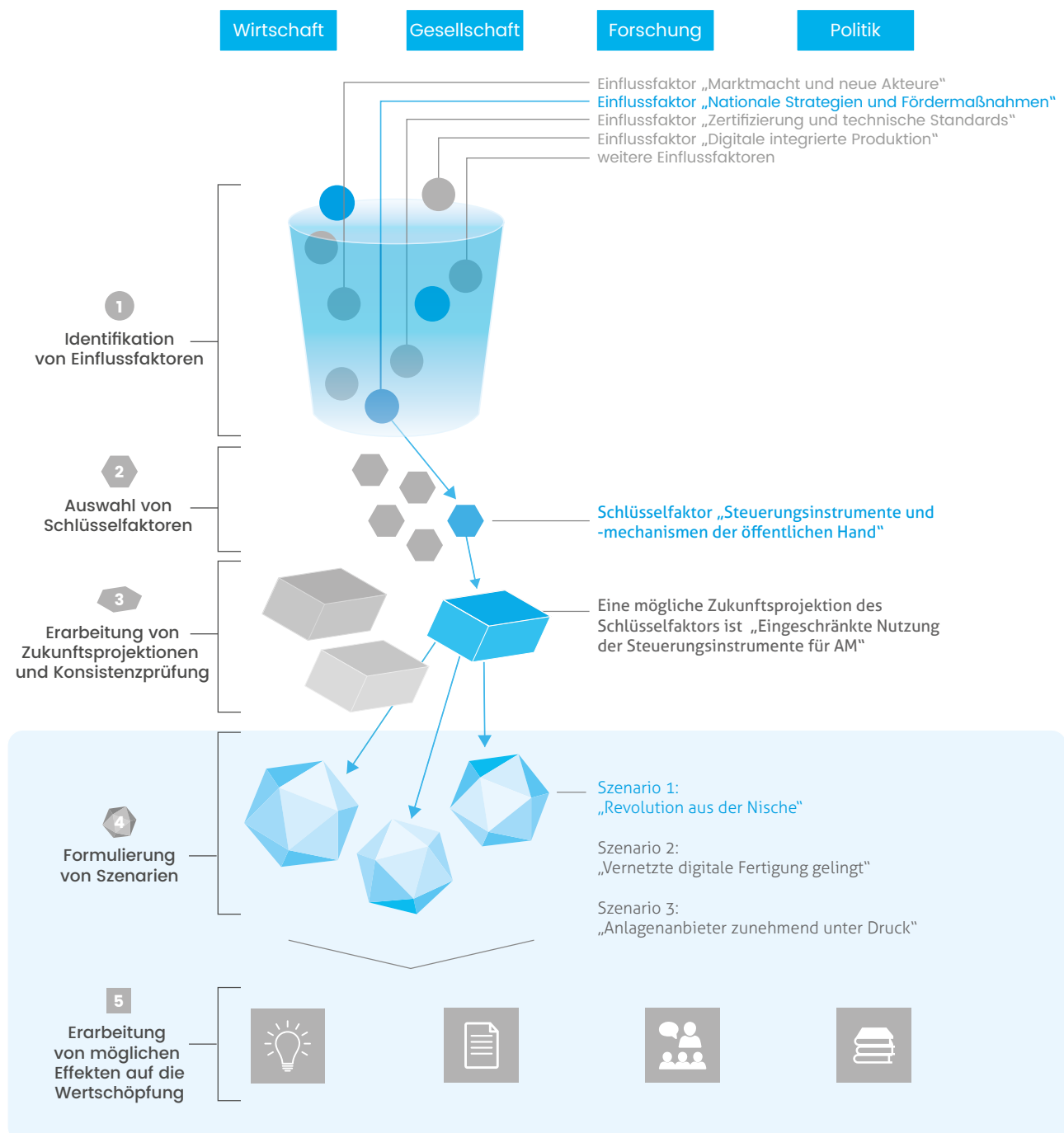


Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Wie wurden die Zukunftsszenarien erstellt?

Das Forschungsteam untersuchte zum einen relevante Rahmenbedingungen und Entwicklungen im politisch-regulatorischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Umfeld. Zum anderen analysierte es aktuelle Trends in der technischen Entwicklung. Diese Analysen basierten auf statistischen Daten, Marktstudien und Forschungsliteratur sowie auf den Einschätzungen von Expertinnen und Experten aus Wissenschaft und Praxis, die über Interviews erhoben wurden. Aus einem umfassenden Einflussfaktorkatalog (51 Faktoren) wählte das Forschungsteam schließlich zehn Schlüsselfaktoren aus. Für jeden Schlüsselfaktor wurden mögliche Entwicklungspfade erarbeitet, die sogenannten Zukunftsprojektionen. Aus der Kombination der Projektionen und anschließender Konsistenzprüfung mithilfe einer Szenariosoftware wurden drei sogenannte Rohszenarien erstellt. Im Rahmen eines eintägigen Expertenworkshops wurden diese Rohszenarien intensiv diskutiert und auf Widerspruchsfreiheit geprüft.

Im Anschluss wurde jedes Rohszenario in einer Langfassung ausgearbeitet und zudem die jeweiligen Kernbotschaften herausgestellt.



Zehn Schlüsselfaktoren für die Zukunftsanalyse

Welche Kräfte bremsen oder begünstigen die Entwicklung und den Einsatz additiver Fertigungsverfahren in der Industrie?

Die ausgewählten Schlüsselfaktoren beschreiben relevante Entwicklungen für AM bzw. wie sie sich auf den Einsatz dieser Technologie auswirken können. Für jeden einzelnen Schlüsselfaktor sind ganz unterschiedliche Zukunftspfade (Projektionen) vorstellbar. Es wird demnach für jeden Faktor ein eigener Zukunftsfächer mit unterschiedlichen Pfaden aufgespannt.

Auf den nachfolgenden Seiten werden die Schlüsselfaktoren vorgestellt und deren Relevanz durch Aussagen aus den Experteninterviews untermauert.



Die 10 Schlüsselfaktoren im Detail



Steuerungsinstrumente und -mechanismen der öffentlichen Hand

Die Steuerungsinstrumente und -mechanismen der öffentlichen Hand sind abhängig von den verfügbaren Ressourcen und der Tragfähigkeit der öffentlichen Finanzen. Sie zielen auf Entwicklungen im öffentlichen Interesse ab, wie z. B. innovationspolitische Strategien und wirtschafts-, sozial- oder gesellschaftspolitische Fördermaßnahmen sowie die Schaffung des regulatorischen und rechtlichen Rahmens für das Innovationssystem.

„Die Projektförderung risikobereiter gestalten, d. h. ein Projekt in einem Schnellverfahren genehmigen bzw. den relativ langwierigen Prozess von der Beantragung bis zum Start optimieren.“



Qualifizierung von Fachkräften

Die Verfügbarkeit von qualifizierten Fachkräften bestimmt u. a. eine erfolgreiche Durchsetzung einer neuen Technologie. Etwaiger Fachkräftemangel kann sich hemmend auf die Diffusion einer Technologie auswirken, da Unternehmen Investitionsentscheidungen (z. B. neue Produktionslinien, Anschaffung von Anlagen oder interne Forschung und Entwicklung) verschieben oder unzureichend durchführen.

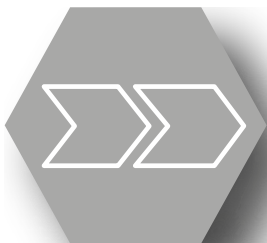
„Wir müssen das Humankapital stärken und additives Denken in der Ausbildung etablieren.“



Marktmacht und neue Akteure auf dem AM-Markt

Die relative Marktmacht ist ein Indikator für die Wahrscheinlichkeit, dass ein Land oder eine Region (z. B. Deutschland) seine Position als AM-Leitanbieter behält, weiter ausbaut oder einbüßt. Die Marktmacht einzelner, auch branchenfremder, Anbieter hat einen großen Einfluss auf die globale Kräfteverteilung, d. h. das wirtschaftliche Gewicht der weltweit bedeutendsten Volkswirtschaften.

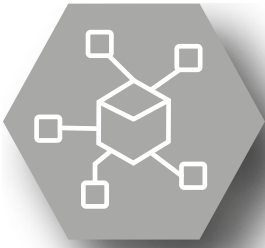
„Zukünftig kommen immer mehr kleinere Anlagen, insbesondere aus China. Da sehe ich große Gefahr für die deutsche Industrie.“



Organisation der AM-Wertschöpfungskette

Die volkswirtschaftliche Wertschöpfungskette bezieht sich auf die Stufen der Wertschöpfung, die grundsätzlich die Produktion mithilfe von AM ermöglichen, auch wenn viele der Stufen (bzw. Akteure) bei der Herstellung eines konkreten Endproduktes nicht direkt in das Produktionsnetz einbezogen sind. Die Wertschöpfungskette im AM kann in Angebots- und Anwenderseite zerlegt werden.

„In Bezug auf KMU ist noch keine Veränderung in der Wertschöpfungsstruktur spürbar; bei großen Unternehmen werden jedoch deutliche Veränderungen stattfinden (u. a. Logistik, Ersatzteilversorgung).“



Digital-integrierte Produktion (diP)

Die Entwicklung und der vermehrte Einzug von digitalen Produktionsprozessen in der deutschen Industrie, die weitgehend selbstorganisiert fahren, wird als digital-integrierte Produktion verstanden. Produktionsbezogene Informationen werden jederzeit verfügbar gemacht, können situations- und aufgabengerecht dargestellt und an jedem Ort abgerufen werden.

„Die diP ist im Produktionsbereich noch Vision, denn es mangelt derzeit noch an einer Softwareintelligenz, die Daten verdichtet und Datennutzung in Prozessen verbessert.“



Software

Software ist eine wichtige Schlüsselkomponente für die Digitalisierung von Produktlebenszyklen und umfasst derzeit sämtliche Arbeitsschritte des Konstruktion und Entwicklung (Computer-Aided Design CAD /Computer-Aided Engineering CAE) sowie der Organisation und Planung (Enterprise-Resource-Planning ERP). Die Entwicklung und Einbindung von Software-Werkzeugen und ihrer komplementären Technologien im Produktentstehungsprozess ermöglichen die kontinuierliche Steigerung von Produktinnovationen und den Aufbau neuer Wertangebote sowie Dienstleistungen.

„Voraussetzung ist, dass CAM-Software "easy to use" wird und Ausführende die komplexen Anforderungen und Regelwerke verinnerlicht haben.“



Anlagenentwicklung

Durch das kontinuierlich wachsende Anforderungsprofil verschiedener Branchen in Verbindung mit einer effizienten Ressourcennutzung existieren unterschiedlich spezialisierte Anlagentypen, welche sich sowohl im Werkstoffeinsatz als auch der Anlagentechnik unterscheiden. Die Fortschritte in der (AM-)Technologie sowie die Entwicklung komplementärer Technologien treiben die sukzessive oder disruptive Weiterentwicklung bestehender Anlagen und Teilsysteme voran.

„Die Anlagen sind derzeit noch zu teuer. Hier besteht noch großer Bedarf an Entwicklungsleistungen.“



Zertifizierung und technische Standards

Die Entwicklung und Existenz von Normen und Standards sowie auch die von rechtlichen Rahmenbedingungen sind entscheidende Aspekte für die Zertifizierung der AM-Technologie. Die Zertifizierung dient der Absicherung einer konformen Herstellung von Produkten und der Erbringung von Dienstleistungen in der Wertschöpfungskette und stellt einen Nachweis zur Wirksamkeit und Funktionsfähigkeit des Produktes dar. Voraussetzung für eine Zertifizierung von Prozess, Technologie sowie verwendetem Werkstoff sind allgemeingültige Standards.

„Die Normen und Richtlinien für das AM sind heute noch unstrukturiert. Standards schaffen hier Abhilfe und können zu mehr unternehmerischer Freiheit führen. Doch die Qualität solcher Standards hängt von mannigfaltiger Mitarbeit ab.“



Werkstoffe

Die Menge an qualifizierten Werkstoffen und die Verfügbarkeit der AM-spezifischen Werkstoffe bestimmt die weitere Etablierung von AM-Technologien im industriellen Umfeld sowie die Entwicklung von innovativen Produkten für den AM-Markt. Weiterhin bestimmen die Prozessbedingungen der AM-Technologie und das Fügeprinzip, ob die Werkstoffe in flüssiger, pulverförmiger, pastöser oder fester Form vorliegen müssen. Neuere Entwicklungen konzentrieren sich auf die Verarbeitung von Multimaterialwerkstoffen.

„Auch Fortschritte im Materialbereich eröffnen ganz neue Möglichkeiten. Es wird viel mehr und neue Materialien geben. Doch es fehlt zum Teil noch an Know-how zur Prozesssicherheit und Materialqualifizierung.“



Ressourceneffizienz

Ressourceneffizienz beschreibt den Nutzen, der durch ein hergestelltes Produkt erfüllt wird, abzüglich des Verbrauches an natürlichen Ressourcen, die für ein Produkt benötigt werden (Ökobilanz). Ressourceneffizienz adressiert einerseits die Produktkosten, andererseits kann eine ressourceneffiziente Fertigung auch zur Erfüllung von Umweltverordnungen, wie z. B. Werksvorgaben für CO₂-Emissionen und dem Kreislaufwirtschaftsgesetz, beitragen.

„Im Sinne von nachhaltiger Fertigung in der Zukunft hat das AM entscheidende Bedeutung, doch bisher gibt es noch keine Gesamtbilanzen, die Nachhaltigkeit von AM ggü. gängigen Verfahren hervorheben würden.“

DIE DREI ZUKUNFTSSZENARIEN AUF EINEN BLICK





Szenario 1 – Revolution aus der Nische

Im Jahr 2025 ermöglicht die positive wirtschaftliche Entwicklung in Deutschland eine vitale Innovations- und Forschungsförderung der Bundesregierung. Hinzu kommen neue Formen privater Finanzierung. Nationale Strategien und öffentliche Förderprogramme mit Bezug zum AM legen ihren Schwerpunkt auf Nischentechnologien, wie hochspezialisierte Anlagen und Softwarelösungen. Sie stärken damit den Wirtschaftsstandort Deutschland auf der internationalen Bühne.

Die starke Ausrichtung auf die „Revolution aus der Nische“ hat zu einer technologischen Weiterentwicklung von AM-Werkstoffen und spezifischen Geschäftsmodellen, Softwaretools, etc. geführt. Die Kombination additiver und konventioneller Verfahren ermöglicht heute eine weitaus hochwertigere Fertigungs- und Bauteilqualität sowie präzisere Iterationszyklen. Überwiegend teilentgrahierte digitale Produktionsprozesse bewirken jedoch noch immer firmeninterne Softwarelösungen – branchenübergreifende, vollautomatisierte Fertigungsprozesse

sind deshalb noch immer Zukunftsmusik. Durch den verstärkten Einsatz dieser Nischentechnologien in der Praxis sind heute immer mehr nationale Standards für einzelne Branchen vorzufinden und erste Entscheidungen von BGH und EuGH mit direktem Bezug zu AM bilden den rechtlichen Rahmen.

Insgesamt zeigen deutsche Unternehmen eine gestiegene Akzeptanz in der Anwendung von AM-Verfahren und ihr Technologie- und Dienstleistungsportfolio ist inzwischen weitaus vielfältiger als noch vor einigen Jahren. Neben einigen kleinen und mittelständischen Unternehmen haben sich vor allem Erstausrüster und Komponentenersteller sowie hochspezialisierte Start-Ups in dem Nischensektor des AM platziert. Die Anwender kommen aus den Branchen Luft- und Raumfahrt, Turbomaschinenbau, Werkzeug- und Formenbau oder Medizintechnik. Viele der Unternehmen ringen allerdings noch immer um jede Fachkraft mit AM-Expertise, obgleich neben der beruflichen Weiterbildung die betriebliche Weiterbildung einen deutlichen Zuwachs erfahren hat.

Schlüsselfaktor	Projektion 1	Projektion 2	Projektion 3
Steuerungsinstrumente und -mechanismen der öffentlichen Hand		Eingeschränkte Nutzung der Steuerungsinstrumente für AM	
Qualifizierung von Fachkräften	Breite Verfügbarkeit von Qualifizierungsangeboten für AM		
Marktmacht und neue Akteure auf dem AM-Markt		Risikokapital für deutsche Player in der AM-Branche	
Organisation der AM-Wertschöpfungskette		Großunternehmen arbeiten mit AM, KMU zögern	
Digital-integrierte Produktion		Flexible Gestaltung der Wertschöpfungskette durch Teilintegration von diP	
Software		Vernetzte, aber komplexe Software-Lösungen	
Anlagenentwicklung	Anlagen für Nischenanwendungen		
Zertifizierung und technische Standards	International ungenügend anerkannte Normen		
Werkstoffe		Erweiterte Einsatzfelder des AM durch Entwicklung von Funktionswerkstoffen	
Ressourceneffizienz		Emissionsreduktion mittels Ressourceneffizienz durch AM	



Szenario 2 – Vernetzte digitale Fertigung gelingt

In 2025 ist AM in Deutschland für einen breiteren Anwendungsbereich geöffnet. Die Unternehmen profitieren von der stabilen

Förderung und der über mehrere Jahre anhaltenden Entwicklung des Technologiefeldes. Ein besonderes Merkmal dieser gezielten Förderstrategie ist die Bündelung verschiedener Aktivitäten in der Forschung und Entwicklung. Forschungskonsortien und -institute sowie Gremien in themenspezifischen Kompetenzzentren arbeiten koordiniert und erproben virtuelle Modellfabriken. Anlagen, Werkstoffe und Qualifikationsmaßnahmen befinden sich im internationalen Vergleich auf einem sehr hohen Niveau und bieten eine gute Voraussetzung für eine Reihe von Innovationen, die von Deutschland ausgehen.

AM-Verfahren sind in zahlreichen Branchen Stand der Technik und nehmen in Deutschland insgesamt eine bedeutende Rolle ein. Die Unternehmen in dieser

Branche wachsen konstant und profilieren sich weiter in international stark umkämpften (digitalen) Märkten als Technologie- und Dienstleistungsanbieter. Die breite Integration von AM in die vernetzte digitale Produktion wird durch ausgereifte, umfassende Standardisierungsmaßnahmen, klare und umfassende rechtliche Rahmenbedingungen und den sicheren Einsatz der so genannten „intelligenten Systeme“ ermöglicht. In vielen Branchen, wie z. B. der Automobilindustrie, dem Schienenverkehr oder in der Luftfahrt setzen die Unternehmen seit einigen Jahren eine hochautomatisierte, dezentrale Serienproduktion erfolgreich um. Viele innovative KMU haben in AM-Anlagen investiert. Sie haben ihre Kompetenzen sowie ihr Technologie- bzw. Dienstleistungsportfolio erheblich erweitert. Das Umdenken für softwaregestütztes und AM-spezifisches Konstruieren ist heute für Unternehmen genauso selbstverständlich, wie eine ausgereifte Funktionsintegration und die Verwendung komplexer Multi-materialien.

Schlüsselfaktor	Projektion 1	Projektion 2	Projektion 3
Steuerungsinstrumente und -mechanismen der öffentlichen Hand	Gezielte & umfangreiche öffentliche AM-Förderung		
Qualifizierung von Fachkräften	Breite Verfügbarkeit von Qualifizierungsangeboten für AM		
Marktmacht und neue Akteure auf dem AM-Markt		Risikokapital für deutsche Player in der AM-Branche	
Organisation der AM-Wertschöpfungskette	Deutsche Großunternehmen und KMU		
Digital-integrierte Produktion			Breite Nutzung von diP im Wertschöpfungsnetzwerk
Software			Intelligent vernetzte Software-Lösungen
Anlagenentwicklung			Fortgeschrittene AM-Anlagen für breite & vielfältige Anwendungsbereiche
Zertifizierung und technische Standards		Ausgereifte, umfassende Standardisierungsmaßnahmen, anerkannte Normen	
Werkstoffe		Erweiterte Einsatzfelder des AM durch Entwicklung von Funktionswerkstoffen	
Ressourceneffizienz		Emissionsreduktion durch Ressourceneffizienz von AM	



Szenario 3 – Anlagenanbieter zunehmend unter Druck

Additive High-Tech-Fertigung erfährt in Deutschland bis zum Jahr 2025 letztlich nur eine zögerliche Entwicklung. Die öffentliche Förderung für die Weiterentwicklung von AM-Verfahren, insbesondere was Anlagen und Werkstoffe betrifft, wird zurückgefahren. Als einer der Gründe dafür wird die schlechte konjunkturelle Entwicklung der Wirtschaft gesehen. Deutschland gerät bei der Verwirklichung des Konzepts von Industrie 4.0 insbesondere gegenüber Ländern in Südostasien und den USA immer weiter ins Hintertreffen. Die Anlagen für metallbasiertes AM deutscher Hersteller erfüllen in vielen Industriebereichen noch nicht die qualitativen Anforderungen für vernetzte Produktionsprozesse mit automatisierten und roboterbasierten Anwendungen. Darüber hinaus fehlt es an offenen Standards für die notwendige Software-Infrastruktur für agile und anpassbare Prozesse einer „digitalen Fabrik“. In Asien und den USA wurden AM-Innovationen hingegen stärker vorangetrieben. Die Marktteilnehmer konnten sich frühzeitig am Markt platzieren. Verglichen mit 2018 hat Deutschland seinen Wettbewerbsvorsprung bezüglich metallbasierten AM verloren und spielt im internationalen Wettbewerb nur noch eine untergeordnete Rolle.

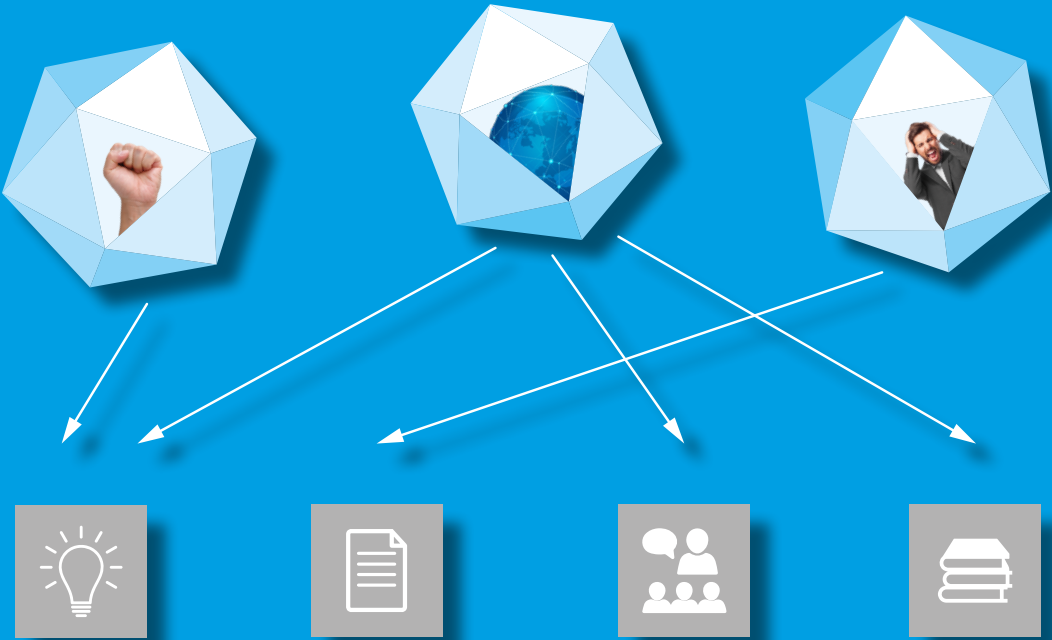
Auf der Anwenderseite schaffen es viele deutsche KMU noch nicht, ihre Geschäftsprozesse zu digitalisieren und verharren teilweise auf konventionellen Geschäftsmodellen. Auch die Akzeptanz für neue, komplexe und flexible Fertigungstechnologien ist in vielen Unternehmen noch immer nicht hoch genug und die Bereitschaft für neue Investitionen gering. Nach wie vor fehlen Fachkräfte, die über das notwendige Verständnis für AM-Verfahren verfügen. Etliche Großunternehmen haben jedoch diese Fertigungsverfahren mittlerweile in ihre Produktionspalette aufgenommen und arbeiten u. a. auch an der Materialoptimierung für die Fertigung eigener komplexer Bauteile.

Im B2C-Markt haben mittlerweile Akteure auf sich aufmerksam gemacht, die bis vor Kurzem als branchenfremd galten. So bieten heute globale Player der digitalen Industrie AM-Produkte und damit verbundene Dienstleistungen über Kollaborationsplattformen mit Wirtschaftsakteuren aus aller Welt (z. B. Designer, Auftragsfertiger, Logistikunternehmen usw.) an, v. a. Ersatzteile und kundenindividualisierte Produkte. Für die Plattformen wurden genaue regulatorische Rahmenbedingungen festgelegt. Die Auslegung neuen Rechts erfolgt generell verbraucherfreundlich, was die Akzeptanz beim Endkunden geschaffen hat.

Im B2C-Markt haben mittlerweile Akteure auf sich aufmerksam gemacht, die bis vor Kurzem als branchenfremd galten. So bieten heute globale Player der digitalen Industrie AM-Produkte und damit verbundene Dienstleistungen über Kollaborationsplattformen mit Wirtschaftsakteuren aus aller Welt (z. B. Designer, Auftragsfertiger, Logistikunternehmen usw.) an, v. a. Ersatzteile und kundenindividualisierte Produkte. Für die Plattformen wurden genaue regulatorische Rahmenbedingungen festgelegt. Die Auslegung neuen Rechts erfolgt generell verbraucherfreundlich, was die Akzeptanz beim Endkunden geschaffen hat.

Schlüsselfaktor	Projektion 1	Projektion 2	Projektion 3
Steuerungsinstrumente und -mechanismen der öffentlichen Hand			Sinkender Anteil der FuE-Ausgaben am BIP
Qualifizierung von Fachkräften		Qualifizierung von Fachkräften verharrt auf Status quo von 2018	
Marktmacht und neue Akteure auf dem AM-Markt	Große Player der IT-Branche dominieren Märkte und Plattformen		
Organisation der AM-Wertschöpfungskette		Großunternehmen arbeiten mit AM, KMU zögern	
Digital-integrierte Produktion	Fehlende Vernetzung verschiedener IT-Systeme in und zwischen KMU		
Software	Komplexe, wenig intuitive firmeninterne IT-Lösungen		
Anlagenentwicklung		Robuste Massenmarktanlagen	
Zertifizierung und technische Standards	International ungenügend anerkannte Normen		
Werkstoffe	Kontinuierliche Erweiterung der Werkstoffpalette		
Ressourceneffizienz			Ressourcenverbrauch von AM bleibt im Wesentlichen gleich

AUSWIRKUNGEN AUF DIE WERTSCHÖPFUNG



Wie können sich additive Fertigungsverfahren zukünftig auf die Wertschöpfung auswirken?

Die additive Fertigung ist eine Schlüsseltechnologie der Digitalisierung. Sie wird die Welt der Produktion von morgen verändern. Ausgehend von den Entwicklungen, welche die drei Zukunftsszenarien beschreiben, erarbeitete das Forschungsteam mögliche Implikationen des zukünftigen industriellen Einsatzes von AM für die Wertschöpfungsorganisation.

Die folgenden Abbildungen zeigen die Geschäftsmodelle, die aus heutiger Sicht für das jeweilige Zukunftsszenario als besonders relevant bewertet wurden. Darüber hinaus sind die wertschöpfungsrelevanten Aspekte aufgelistet, die sich für Lieferketten, unternehmensübergreifende Kooperationen und Qualifikationsanforderungen aus dem Szenario ergeben können.

AUSWIRKUNGEN VON SZENARIO 1 – REVOLUTION AUS DER NICHE

Szenario 1 „Revolution aus der Nische“ beschreibt weitgehend die Fortsetzung der aktuellen Entwicklung. Im Jahr 2025 stellen die Anwender, insbesondere die KMU, eng spezialisierte Produkte mittels AM her und bieten zahlreiche damit verbundene Dienstleistungen an. Im Kontext der hybriden Wertschöpfung können sich Strategien der Unternehmen in unterschiedlichen Aspekten verändern. Gefordert sind die Stärkung der Partnerschaften in Produktionsnetzwerken, die Öffnung von Produktionsprozessen für externe Akteure im Rahmen von Open Innovation und die Aneignung notwendiger Fachkompetenzen für die Koordination von unternehmensübergreifenden Wertschöpfungsaktivitäten.



Mögliche Effekte auf der Ebene der Wertschöpfungsorganisation

- Großunternehmen arbeiten überwiegend an AM-Innovationen.
- Immer mehr KMU machen die AM-Services zu ihrem Kerngeschäft und verfolgen hybride Geschäftsmodelle.
- Digitale Infrastruktur (z. B. Plattformen, Werkstoff-Konfiguratoren) ermöglicht eine gesteigerte Kundenintegration.
- Kooperative, flexible und regionale Wertschöpfungsnetzwerke gewinnen an Bedeutung.
- Große Marktteilnehmer vernetzen sich mit Spezialisten zu Wissens- und Innovationspartnerschaften.
- Durch Open Innovation ergeben sich neue Synergien. Auch Universitäten, Regierungen und andere Akteure sind hier einbezogen.
- Flexible Netzwerke, Vernetzungsplattformen, Kompetenz- und Trainingszentren entstehen, um Know-how unternehmensübergreifend zu fördern und zu teilen.

Potenzielle Geschäftsmodelle

- Hybride Leistungsbündel (Kombination von Produkt und Dienstleistung)
- Open Innovation (Öffnung des Innovationsprozesses für andere Marktteilnehmer)
- Pay-per-Use (Serviceentgelt für die Nutzung von Anlagenstrukturen)

AUSWIRKUNGEN VON SZENARIO 2 – VERNETZTE DIGITALE FERTIGUNG GELINGT

Szenario 2 „Vernetzte digitale Fertigung gelingt“ stellt eine alternative Entwicklung dar, in der im Jahr 2025 unter günstigen Rahmenbedingungen eine breite industrielle Anwendung von AM-Verfahren stattfindet. Sowohl Großunternehmen als auch KMU setzen in vielen Branchen AM-Verfahren in ihren Produktionsprozessen ein. Der „In-House-Einsatz von AM“ könnte hier ein potenzielles Geschäftsmodell sein, bei dem das AM als Alternative zu den konventionellen Verfahren in die Massenproduktion integriert wird. Möglich sind substantielle Veränderungen in der Standortplanung, der Wertschöpfungskette sowie die Umsetzung innovativer Logistikkonzepte. Beim Personal entsteht ein sehr hoher Bedarf an relevanten Fachkompetenzen.



Mögliche Effekte auf der Ebene der Wertschöpfungsorganisation

- Großunternehmen und immer mehr innovative KMU entscheiden sich für Integration von AM-Anlagen in die eigene vernetzte digitale Produktion als Stand-alone- oder hybride Systeme.
- Vermehrte Verlagerung in der innerbetrieblichen Wertschöpfung von Produktion zu Konstruktion, Nutzung oder Wartung.
- Reorganisation und Verschlinkung der Wertschöpfungsketten; wirtschaftliche Produktion in Kundennähe wird möglich (Reshoring).
- Es entstehen Möglichkeiten für neue Geschäftsstrategien sowohl für Erstausrüster (vertikale Integration) als auch für die Zulieferer von Komponenten oder Normteilen (direkter Kundenzugang).
- Logistik ist im Wandel begriffen. Es findet ein Übergang von globaler zu regionaler Logistik statt und innovative Logistikkonzepte werden umgesetzt.
- Infolge geringer Skaleneffekte entstehen kaum Anreize für große Fabriken, stattdessen könnten Mikrofabriken in regionalen Logistiknetzen mit kurzen Lieferzeiten entstehen.
- Es herrscht hoher Wettbewerbsdruck für deutsche AM-Unternehmen sowie neue Konkurrenz durch neue Player im AM-Markt.
- Kompetenzen für den In-House-Einsatz werden in klassische Berufsbilder integriert, auch in der beruflichen Aus- und Weiterbildung.

Potenzielle Geschäftsmodelle

- In-House
(Investition in eigene AM-Produktionskapazitäten)
- License
(Kommerzialisierung von Nutzungsrechten)
- No Frills
(Angebot von standardisierten, leistungsrationalisierten Produkten und Services aus der Massenproduktion)

AUSWIRKUNGEN VON SZENARIO 3 – ANLAGENANBIETER ZUNEHMEND UNTER DRUCK

Im dritten Szenario "Anlagenanbieter zunehmend unter Druck" erfährt der Einsatz von AM bis zum Jahr 2025 eine zögerliche technologische Entwicklung. Das wirtschaftliche Potenzial der AM für die Serienfertigung in Hochtechnologie-sektoren lässt sich infolge der verlangsamten Anlagenentwicklung nicht ausschöpfen. Die Anwender fokussieren sich vorwiegend auf die verstärkte Kundenintegration vor dem Hintergrund einer steigenden Nachfrage nach individualisierten Produkten. In diesem Kontext wurden daher Wertschöpfungsmodelle betrachtet, die sich infolge von verfügbaren Low-end-AM-Systemen am Bedarf nach zunehmender Individualisierung des Endproduktes orientieren und Endkunden in den Produktionsprozess miteinbeziehen („Mass Customization“ und „User Innovation“).



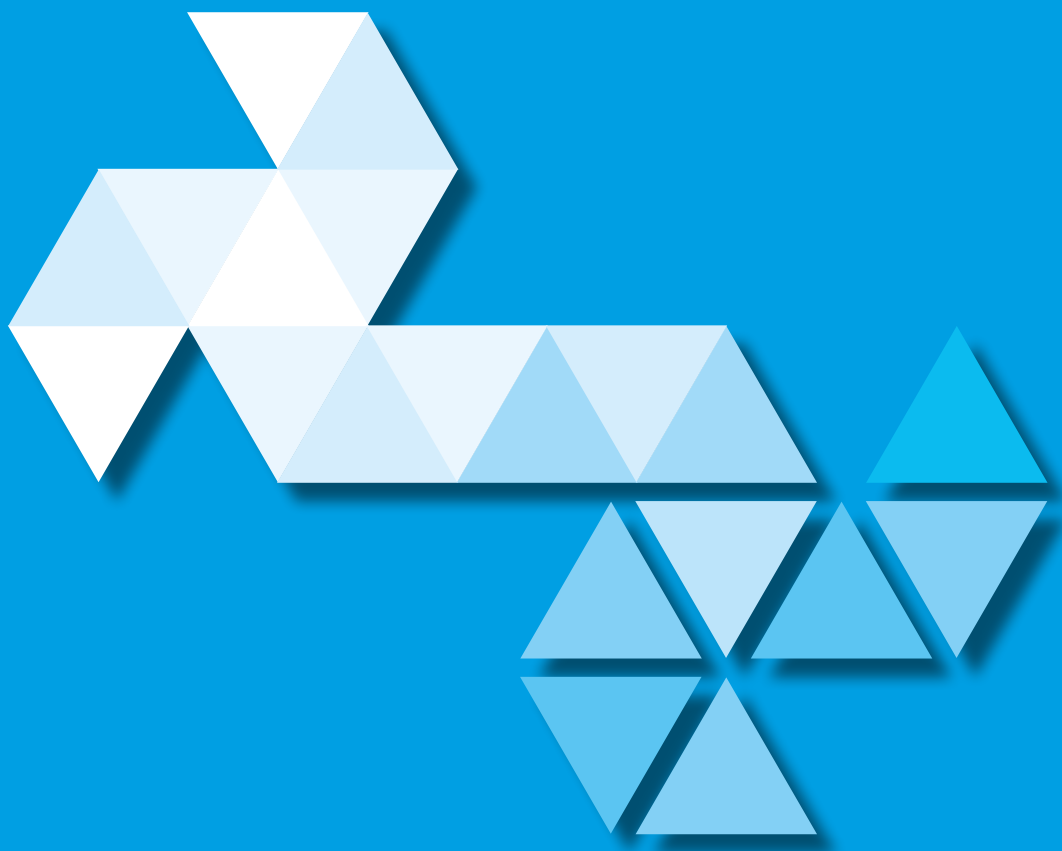
Mögliche Effekte auf der Ebene der Wertschöpfungsorganisation

- Die Nachfrage der Endverbraucher nach nachhaltigen und individualisierten Produkten fördert die Verbreitung von AM-Verfahren außerhalb der High-Tech-Industrie.
- Individualisierte Massenproduktion wird mittels AM in Anwendungsbranchen wie der Möbel-, Sport-, Freizeit- und Spielwarenindustrie oder Gastronomie erfolgreich umgesetzt.
- Mit 3D-Scan- und Messtechnik könnten neue Potenziale realisiert werden, etwa in der digital unterstützten On-Demand-Maßanfertigung.
- Geschäfts- und Privatkunden werden aktiver in frühere Wertschöpfungsstufen (z. B. Produktentwicklung und Design) eingebunden.
- Etablierung von kundenzentrierten Geschäftsmodellen.
- Mit der Verbreitung der Do-It-Yourself-Kultur (DIY) wird der Verbraucher zum kreativen Prosumer. Mittels AM können die Kunden eigene Ideen verwirklichen oder selbst Reparaturen vornehmen.
- Offene Werkstätten und Living Labs, Online-Plattformen, 3D-Hubs und Copyshops vermitteln Prozess- und Materialkenntnisse in verschiedenen Altersgruppen und fördern die Nutzerinnovationen.

Potenzielle Geschäftsmodelle

- Mass Customization (Kundenindividuelle Massenfertigung)
- User Innovation (Integration des Kunden in den Innovationsprozess)
- Shop-in-Shop (Integration und Nutzung bestehender Kundenplattformen)

DIE DREI ZUKUNFTSSZENARIEN IN DER LANGFASSUNG



Szenario 1 – Revolution aus der Nische

SOZIOÖKONOMISCHE RAHMENBEDINGUNGEN FÜR DIE AM IN DEUTSCHLAND

Wirtschaft

Im Jahr 2025 zahlen sich die konsequenten und orchestrierten Bemühungen der deutschen Wirtschaft und Politik der letzten zwei Legislaturperioden aus und die gute Wirtschaftskonjunktur hält, abgesehen von kleineren Schwankungen, insgesamt weiter an. Das Momentum in der Exportwirtschaft ist weiterhin kräftig und Deutschland setzt in diesem Kontext auf die „Revolution des AM aus der Nische“. Mit hochspezialisierten Anlagen und Softwarelösungen ist der Standort Deutschland auch gegenüber den wirtschaftlichen und finanziellen Schwerewichten, wie China und den USA, die überwiegend auf Massenproduktion setzen, weiter an der Spitze. Das neue Konjunkturpaket aus dem Jahr 2020 sowie eine steuerliche Forschungsförderung, ergänzend zur Projektförderung, bilden den Grundstein für eine vitale Innovations- und Forschungsförderung, welche mittlerweile bei 3,2 % des BIP liegt. Vor allem Start-Ups profitieren von den stimulierenden Maßnahmen und Förderangeboten und haben eine dynamische Unternehmensszene entstehen lassen. Sie haben sich als Dienstleister für Insellösungen etabliert und bieten spezifische Software- und IT-Anwendungen an, wie u. a. computerbasierte Entwurfsmethoden (für parametrisches Design), Softwaretools und spezifische Online-Plattformen. Die Start-Ups sind in dieser Softwarewelt hochspezialisiert. Ihr Investitionskapital speist sich vor allem aus privater Hand, d. h. Investoren aus dem Anlagenbau (z. B. EOS Ventures Partners) und Stiftungen. Neue Formen privater Finanzierung sowie Venture Capital-Investments werden bereits seit einigen Jahren auch in der AM-Branche genutzt und ermöglichen eine lückenlose Finanzierungskette mit schnellen und risikobehafteten Entscheidungen für deutsche Technologieunternehmen.

Öffentliche Förderung

Vor dem Hintergrund dieser stabilen wirtschaftlichen Ausgangssituation legt die Bundesregierung in nationalen Strategien und öffentlichen Förderprogrammen mittlerweile einen Schwerpunkt auf die öffentliche Förderung für Schlüsseltechnologien mit AM-Bezug. Doch insgesamt lässt Deutschland noch eine spezifisch auf das AM zugeschnittene Strategie vermissen. Stattdessen werden AM-Förderschwerpunkte weiterhin implizit in den nationalen Strategien, wie der Hightech-Strategie 2020 des BMBF mit dem Zukunftsprojekt „Industrie 4.0“ und das Technologieprogramm „AUTONOMIK für Industrie 4.0“ des BMWi, adressiert. Dadurch werden durchaus wichtige Impulse für u. a. AM-gefertigte Produktionsmaschinen

und ihre Komponenten (Lasertechnik und Photonik), Werkstoffe und Materialien auf nationaler Ebene für einzelne ausgewählte Branchen, wie dem Transportwesen oder der Medizin- und Energietechnik, gesetzt.

KMU

Doch trotz gestiegener Investitionen in Forschung und Entwicklung fällt es kleinen und mittelständischen Unternehmen noch immer schwer, die öffentlichen Fördermittel zu nutzen. Ein weiterhin bekanntes Hindernis stellt noch immer der zeit- und ressourcenaufwendige Vergabeprozess dar. Für kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) ist die Antragstellung auch heute noch mit einem zu hohen Aufwand und zu langen Wartezeiten (z. T. bis zu einem Jahr) verbunden, die folglich keine effiziente und praxisgerechte Umsetzung ihrer Forschungsaktivitäten ermöglichen. Insgesamt sind es neben einigen wenigen KMU vor allem Erstausrüster und Komponentenhersteller (OEM), die von der öffentlichen Förderung profitieren. Zusammen mit der überwiegend privatfinanzierten Start-Up-Szene haben sie sich in dem AM-Nischensektor platziert.

Forschungseinrichtungen

Ein wichtiger Standortfaktor für Unternehmen mit Schwerpunkt auf AM ist der Zugang zu Technologiewissen, das überwiegend in der Nähe von großen Ballungszentren, wie Aachen, Berlin, Hamburg, Stuttgart, München und Dresden zu finden ist. KMU hingegen, die im ländlichen Raum angesiedelt sind, profitieren von diesen urbanen Netzwerkstrukturen kaum. Darüber hinaus ringen die Unternehmen weiterhin um jede Fachkraft mit AM-Expertise. Denn weder die gezielte Zuwanderungspolitik der vergangenen Jahre noch die zügige Anerkennung von ausländischen Abschlüssen durch die entsprechenden Industriekammern, hat den Fachkräftemangel abmildern können. Hinzu kommt, dass die Zahlen der Hochschulabsolvierenden mit spezifischem AM-Fachwissen und Qualifikationsprofilen zu langsam steigen.

Aus- und Weiterbildung

Vor diesem Hintergrund nimmt die berufliche Weiterbildung schon seit einigen Jahren eine wichtige Stellung ein. Durch den Aufbau digitaler Lernwelten und das Plattformangebot wird das Wissen um AM der Community zugänglicher. Die „Initiative Berufsbildung 4.0“ des BMBF zusammen mit dem Bundesinstitut für Berufsbildung aus dem Jahr 2016 hat die Fachkräftequalifikation und Kompetenzen für die digitalisierte Arbeit deutlich befördert. Somit können Fachkräfte das breite Angebot an passgenauen und flexibel ausgerichteten Weiterbildungsformaten für AM nutzen und sich auf diesem

Fachgebiet spezialisieren. Insbesondere erfährt die betriebliche Weiterbildung einen deutlichen Zuwachs. Deutsche Unternehmen (auch KMU) haben in spezifische Weiterbildungsmaßnahmen und Trainingszentren stärker investiert und von der staatlichen Weiterbildung unabhängige Konzepte entwickelt. Sie unterstreichen damit die Sozialkompetenz und das Erfahrungswissen älterer Mitarbeiter, indem sie entweder auf private Anbieter von Schulungen zurückgreifen oder bereits qualifizierte Mitarbeiter selbst als Wissensvermittler und Ausbilder im eigenen Unternehmen agieren. Die betriebliche Weiterqualifizierung steigert die Attraktivität der Arbeitsbedingungen und stärkt die Identifikation der Belegschaft mit dem Unternehmen. Durch den stetigen Wissensaufbau steigern die Unternehmen ihre Innovationsfähigkeit und agieren weiterhin als Spezialisten in komplexen Wertschöpfungsnetzwerken.

Rechtlicher Umgang mit AM

Im Jahr 2025 haben Rechtswissenschaftler eine Basis für den rechtlichen Umgang mit AM geschaffen. Neben der Veröffentlichung von Forschungsergebnissen existieren mehrere Monografien und zahlreiche Aufsätze in Fachzeitschriften. Auch wurden erste Dissertationen verfasst. Die Darstellungen sind i. d. R. aus Sicht verschiedener Rechtsgebiete entwickelt. Einen Schwerpunkt bilden Auseinandersetzungen mit der (zivilrechtlichen) Haftung sowie dem Immaterialgüterrecht. Datenschutzrechtliche Fragen treffen in besonderer Weise nur bestimmte Branchen. Durch den verstärkten Einsatz von AM in der betrieblichen Praxis in den vergangenen Jahren sind Einzelfälle vor die Gerichte getragen worden. So gibt es mittlerweile erste Entscheidungen von BGH und EuGH mit direktem Bezug zu AM.

AM IN DEUTSCHLAND (ANLAGEN- UND MATERIALENTWICKLUNG, ANBIETER UND ANWENDER)

Die additiv-generative Fertigung zählt heute zu einer gut etablierten Nischentechnologie, gerade weil das dynamische Wachstum der nationalen sowie internationalen Anlagenhersteller bereits in den 2010er Jahren ein breites Spektrum an Spezialisierungen hervorgerufen hat. Ein großer Teil der Unternehmen, darunter viele innovative Zuliefererfirmen, haben rechtzeitig die Chance ergriffen, in relevantes Wissen, Personal und Anlagen zu investieren. In der industriellen Fertigung wird AM als hybride und ergänzende Schlüsseltechnologie innerhalb eines komplex gestalteten Wertschöpfungsnetzwerkes genutzt. Die Kombination additiver und konventioneller Verfahren ermöglicht heute eine weitaus hochwertigere Fertigungs- und Bauteilqualität hinsichtlich Geometrie, Genauigkeit und Funktion sowie präzisere Iterationszyklen. Spannungsarme, verzugsfreie Aufbauten können durch Temperaturmanagement zur Senkung thermischer

Spannungen im Bauteil gefertigt werden, weshalb meist ein aktives Monitoring-System integriert ist. Vor diesem Hintergrund ist das Technologie- und Dienstleistungsportfolio (Daten, Werkzeuge, Komponenten) der Anwender inzwischen weitaus vielfältiger als noch vor einigen Jahren. Doch der technologische Fortschritt geht nicht unbedingt mit einer Erhöhung der **Ressourceneffizienz** in der Produktion einher.

Die Auseinandersetzungen mit der (zivilrechtlichen) Haftung hat das deutsche Wertschöpfungsnetzwerk wachsen lassen. Deutsche Erstausrüster und Komponentenhersteller nutzen die zukunftsweisende Technologie des AM, um alle Bereiche der **Wertschöpfungskette** abzudecken, d.h. von der Geometrieerstellung bis zur Fertigung von Neuteilen oder hybriden Bauteilen in Serie sowie deren Prüfung oder Reparatur mittels Laserpulverauftragschweißen. Darüber hinaus nutzen sie die AM-Technologie für die eigene Konzern- bzw. Unternehmensforschung. Die KMU investieren hingegen in Nischenanlagen insbesondere für Werkzeug- und Formenbau, die Herstellung von Komponenten, Bauteilmodellierung und Fertigung (Prototypenbau) oder bieten vereinzelt auch Dienstleistungen im AM (u.a. Oberflächenveredelung) sowie Entwicklungs- und Konstruktionsdienstleistungen von Komponenten (inkl. digitaler Fertigungsvorlagen) an. Die Start-Up-Szene besetzt die Nische der Softwareentlastung. Insbesondere im Bereich der CAD-CAM-Schnittstellen ist Deutschland immer noch weltweit führend. Die Anwender entstammen aus den Branchen Luft- und Raumfahrt, Turbomaschinenbau, Werkzeug- und Formenbau oder Medizintechnik und nutzen vor allem kunststoff- und metallpulverbasierte Technologien für die spezialisierte Produktion in Kleinserie. Doch auch andere Systemanbieter von AM-Anlagen erschließen mittlerweile **neue Märkte**, wie die Petrochemie, Lebensmitteltechnologie oder den Traktorenbau. Neben den Produkten in Kleinserie werden auch immer häufiger großformatige Bauteile im Bauwesen additiv hergestellt. Ergänzt werden die AM-Technologien durch Verfahren der digitalen Baubestandserfassung, mithilfe derer die Bauteile digitalisiert und entsprechend der angestrebten Bauteilgeometrie passgenau aufgebaut werden können. Im Bauwesen kann im Besonderen schalungsfrei und auch vor Ort gefertigt werden. Hierbei werden des Öfteren Ergänzungs- und Ersatzbauteile für Wohnmöglichkeiten in Katastrophengebieten mittels AM vor Ort gefertigt.

In Deutschland ist die Automatisierung der Produktionsabläufe im Jahr 2025 nur teilweise erreicht und folglich noch immer ein hemmender Faktor für die Produktion von übermorgen. Da noch nicht alle Schnittstellen zwischen den verschiedenen AM-Unternehmen definiert sind, werden hierzulande noch überwiegend **teilintegrierte digitale Produktionsprozesse** von den AM-Unternehmen

genutzt. Die Nutzung der teilautomatisierten Fertigung erfordert allerdings eine höhere Flexibilität in der Prozesskette, um im Wettlauf um Iterationszeiten in der Produktentwicklung bei ständig sinkenden Losgrößen mithalten zu können. Sie bedienen dementsprechend als Spezialisten dezentrale Wertschöpfungsnetzwerke.

Die geringen Fortschritte in der Integration der Produktionsprozesse haben zur Folge, dass die spezifische Anlagenentwicklung im Jahr 2025 vor allem an firmeninterne Softwarelösungen gebunden ist. Das schafft zwar eine Sicherheit für den Nutzer sowie gut verwertbare Ergebnisse bezüglich der Produkthanforderungen an die Anbieter, bindet aber zugleich die Kundinnen und Kunden an die individuell generierte Wertschöpfungskette. Aufgrund der zunehmenden Komplexität in der Nutzung von verschiedenen [Softwaretools](#), ist es jedoch weiterhin schwierig, Kundschaft ganzheitlich in den Produktentwicklungsprozess zu integrieren. Eine Implementierung neuer Schnittstellen oder Software aus geschlossenen ERP-Systemen heraus ist auch 2025 noch mit hohen Kosten verbunden, obgleich die Betriebszeit auch aufgrund verbesserter Datenverarbeitung im AM deutlich reduziert werden konnte. Darüber hinaus unterscheiden sich Anforderungen an Datenübermittlungssysteme und nationale Bestimmungen zum Teil so gravierend voneinander, dass kein vollautomatisierter Fertigungsprozess gewährleistet werden kann. Aus diesem Grund ist eine grenzübergreifende Kooperation zwischen führenden AM-Schlüsselnationen (wie Deutschland, USA und China) und eine einheitliche Wertschöpfung auf globaler Ebene noch nicht möglich.

Dessen ungeachtet wächst in Deutschland die Zahl der Unternehmen, die AM-Verfahren nutzen, kontinuierlich weiter und immer mehr Akteure bringen sich in verschiedene branchenspezifische Standardisierungsorganisationen ein. Es entstehen neue [Standards](#) für

einzelne Branchen und eine Reihe von inzwischen hochspezialisierten Parallelaktivitäten verschiedener Arbeitsausschüsse (wie die von VDMA, VDI, VDE) und industrieller Facharbeitskreise. Aufgrund der hohen Mitgliederzahlen aus verschiedenen Branchen und unterschiedlichen Gremien kommt es zu Differenzen und Verzögerungen in der Erstellung von Standards. Die Mitarbeit in internationalen AM-Standardisierungsorganisationen verläuft ebenfalls schleppend und ohne nennenswerte Erfolge. Infolge der unterschiedlichen Klassifizierungen sicherheitsrelevanter Bauteile lassen sich die Routinen nicht einfach von einer Branche zur anderen übertragen. Ein kostenstabiles, sicheres und reproduzierbares AM von Komponenten etabliert sich nur in wenigen Branchen. Es entstehen Insellösungen zur Absicherung der AM-Prozessketten, basierend auf nationalen Bestimmungen. Das AM setzt sich branchenübergreifend dort durch, wo Einzelteile und Prototypen gefordert werden. Diese werden stetig zur Unterstützung von Konstruktions- und Testprozessen in der Produktentwicklung eingesetzt.

Die „Revolution des AM aus der Nische“ ist noch immer an eine begrenzte Auswahl an Materialien gebunden, denn die [Materialpalette](#) hat sich nur schleppend erweitert und Funktionswerkstoffe sind noch immer zu teuer. Der Trend zur Miniaturisierung bleibt hingegen ungebrochen bestehen und fordert die Herstellung von Produkten mit hoher Funktionsintegration. Werkstoffhersteller spezialisieren sich auf die Entwicklung neuer Anlagen, die ultrafeine, nanopartikuläre Werkstoffe erzeugen können. Zusammen mit den Maschinenherstellern wurden geeignete Parameter für deren Verarbeitung mittels verschiedener AM-Technologien identifiziert, die eine Fertigung von hoch funktionalisierten Komponenten in kleinster Skalierung zulassen. Jedoch sind die Absatzmengen noch sehr klein, so dass die Preise für diese neuen Werkstoffe weiterhin sehr hoch sind. Hier stehen die Hersteller noch am Beginn der Entwicklung.

Szenario 2 – Vernetzte digitale Fertigung gelingt

SOZIOÖKONOMISCHE RAHMENBEDINGUNGEN FÜR AM IN DEUTSCHLAND

Wirtschaft

Das Wirtschaftswachstum der Bundesrepublik Deutschland ist im Jahr 2025 weiterhin hoch, insbesondere durch die Verbesserung der nationalen Wettbewerbsfähigkeit. Diese stabile wirtschaftliche Ausgangssituation geht auf wegweisende Entscheidungen der Bundesregierung in den letzten Jahren zurück. Dazu zählt u. a. die Einführung einer steuerlichen Forschungsförderung auf FuE-Personal für KMU, ergänzend zur Projektförderung des Bundes und der Länder, sodass die Investitionen in Forschung und Entwicklung mittlerweile bei 3,5 Prozent des BIP liegen. Ein weiterer bedeutender Faktor, welcher der deutschen Unternehmerszene in die Hände spielt ist, dass sich der demografische Wandel verlangsamt. Das Erwerbspersonenpotenzial ist nach langer Zeit der Schrumpfung wieder leicht im Steigen begriffen. Die Gründe hierfür sind eine gesteuerte Zuwanderung qualifizierter junger Fachkräfte, deren ausländische Abschlüsse seitens der Industriekammern leichter anerkannt werden sowie eine gestiegene Frauenerwerbstätigkeit durch Verbesserungen bei der Vereinbarkeit von Familie, Pflege und Beruf. Die Arbeitsorganisation ist insgesamt flexibler geworden. Dadurch schlagen die Folgen des prognostizierten Fachkräftemangels heute wesentlich geringfügiger zu Buche und das Wachstum der Branchen wurde nicht ausgebremst.

Öffentliche Förderung

Bei den Ausgaben für Forschung und Entwicklung kämpft Deutschland mit China und Korea um den weltweiten Spitzenplatz. Die umfangreichen Ressourcen verschaffen einen lukrativen finanziellen Spielraum für die Förderung der Weiterentwicklung von Schlüsseltechnologien. Das AM ist mittlerweile in nationalen Strategien und öffentlichen Förderprogrammen verankert und profitiert von dieser Entwicklung. Ein besonderes Merkmal der gezielten Förderstrategie für diese Schlüsseltechnologie ist die Bündelung verschiedener Aktivitäten der Forschungskonsortien und -institute sowie Gremien (u. a. die Standardisierung und Normung durch VDI, VDMA, etc.) in themenspezifischen Kompetenzzentren und Modellfabriken. Neben den ersten digitalen Modellfabriken (z. B. in Ilmenau, Erlangen oder Bad Neustadt) sind inzwischen weitere Kompetenzzentren in verschiedenen Regionen entstanden. Diese haben sich der identifizierten Forschungslücken angenommen, etwa der Produktqualität und -sicherheit, der Robustheit additiver Produktionsprozesse, der Optimierung additiver Werkstoffe, den Eigenschaften additiv gefertigter Komponenten, den konkreten verfahrensübergreifenden

Norm- und Gestaltungsrichtlinien, den neuen digitalen Dateiformaten und den Auswirkungen auf Wirtschaft und Gesellschaft. In Kooperation mit Start-Ups bzw. etablierten KMU wurden darüber hinaus größere Produkt- und Prozessinnovationen angestoßen.

Neben der Forschungsförderung werden zudem stimulierende Maßnahmen und Förderinstrumente für Gründer und Start-Ups angeboten, bezogen auf Software, Verschlüsselung, Datenschutz, Stabilität und Kapazität sowie Prozessoptimierung. Neue Formen privater Finanzierung, etwa Venture Capital-Investments sowie verschiedene Formen der Schwarmfinanzierung sind heute auch in Deutschland populär und ermöglichen eine lückenlose Kapitalisierung mit schnellen Entscheidungen für deutsche Technologieunternehmen. Dies hat eine vitale Unternehmerszene auf der Anbieterseite von AM-Produkten und -Verfahren entstehen lassen, die international als sicher und vertrauenswürdig gilt. Dadurch ist Deutschland heute in vielen – auch AM-relevanten – Bereichen ein führender Akteur in Forschung und Entwicklung und glänzt international mit einer exzellenten Standortattraktivität. Die Branche wächst konstant und profiliert sich weiter innerhalb der international stark umkämpften Internet- und Technologiewirtschaft. Diese ist heute getrieben durch eine starke Tendenz zur Nachfrage nach personalisierten Produkten. Ihre Herstellung erfordert oft die Verarbeitung sensibler Daten und erfolgt mittels moderner Verschlüsselungstechnologien sowie digital integrierter Produktionsprozesse, die unternehmensseitig routiniert zum Einsatz kommen. Die rechtliche Absicherungen werden über einen Risikofonds gewährleistet, die den Verantwortungsrahmen von autonom gesteuerten Prozessen auf Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse definieren und dann zum Tragen kommen, wenn die Haftungsfragen nicht geklärt werden können.

Aus- und Weiterbildung

AM ist im Rahmen der Transformation hin zur digitalen Wissensgesellschaft und der „Hochschulreform Digitalisierung“ mit ihren spezifischen Themenschwerpunkten in den Ausbildungsordnungen und -rahmenplänen des Bundes und der Länder fest verankert. Viele technische Qualifikationsprofile sind präzise auf diese Verfahren ausgerichtet, Ausbildungsinhalte sind angepasst und neue Berufsbilder (u. a. Data-Scientist, Verfahreningenieur für Additive Verfahren/Rapid-Technologien, Maschinenbauinformatiker, Automatisierungstechniker, Robotik-Ingenieur) fügen sich gut in die Arbeitswelt ein. Die Ausbildung vieler Berufsgruppen umfasst mittlerweile sowohl Grundkenntnisse über die gängigen Verfahren und ihre technischen und wirtschaftlichen

Potenziale als auch Praxismodule zur Beherrschung der jeweils relevanten Tools und Prozesse. Als Folge setzt sich „additives Denken“ immer mehr durch.

Besonders nachgefragt waren in den letzten Jahren AM-bezogene Weiterbildungsangebote für Lehrkräfte, die in diversen Fachrichtungen (sowohl im Ingenieurwesen als auch in anderen Disziplinen wie Medizintechnik, Informatik, Design, Architektur, etc.) angeboten werden.

Auch die juristische Ausbildung wurde den fortschreitenden technischen Innovationen angepasst. Im Studium besteht nun die Möglichkeit, sich Schlüsselqualifikationen und Zusatzausbildungen im Bereich des Technikrechts anzueignen.

Die Grundlagen werden bereits in der Schulbildung gelegt. Digitale Medien (beispielsweise Software, Mikrocontroller, Roboter und 3D-Drucker) und moderne pädagogische Konzepte unterstützen heute die frühzeitige Vermittlung von IT-Kenntnissen bei Schülern und steigern somit die Attraktivität dieser neuen Berufsbilder sowie allgemein die Begeisterung für MINT-Fächer.

Rechtlicher Umgang mit AM

Im Jahr 2025 haben Rechtswissenschaftler eine umfangreiche juristische Ausarbeitung für den rechtlichen Umgang mit dem AM geschaffen. Neben der Veröffentlichung einer Vielzahl von Forschungsergebnissen existieren mehrere Monografien und zahlreiche Aufsätze in Fachzeitschriften. Auch wurden mehrere Dissertationen veröffentlicht. Die Darstellungen sind i. d. R. aus Sicht verschiedener Rechtsgebiete entwickelt. Einen Schwerpunkt bilden Auseinandersetzungen mit der (zivilrechtlichen) Haftung sowie dem Immaterialgüterrecht. Durch die starke interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Forschung konnten juristische Regelungslücken überwiegend geschlossen werden. Daneben gab es eine Vielzahl von wegweisenden Gerichtsentscheidungen.

AM IN DEUTSCHLAND (ANLAGEN- UND MATERIALENTWICKLUNG, ANBIETER UND ANWENDER)

Im Jahr 2025 sind AM-Verfahren in vielen Branchen Stand der Technik und nehmen insgesamt in Deutschland eine bedeutende Rolle ein. Insbesondere im Leichtbau wird durch diese Verfahren eine bionische Konstruktion möglich, die neue Maßstäbe in Sachen Festigkeit und Gewichtsreduktion setzt. Ein großer Teil der Unternehmen, darunter viele innovative kleine bis mittelständische Zulieferer, die Bauteile bisher mittels konventioneller Verfahren auf hohem Niveau fertigten, haben in das relevante Wissen, Personal und Anlagen für die additiv-generative Fertigung investiert und dadurch ihr Technologie- und Dienstleistungsportfolio erweitert bzw. verändert.

Eine gut etablierte [digital integrierte Produktion](#) mit

hoher technischer Sicherheit (Cybersicherheit) auf dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik im Bereich des Produktsicherheitsrechts ermöglicht mittlerweile die dauerhafte Sammlung von Prozessparametern der Anlagen und deren dezentrale Kalibrierung. Ausgereifte Robotik, Messtechnik und Machine-Learning-Systeme erlauben eine kontinuierliche Steigerung der Bauteilqualität. Moderne Monitoring-Systeme sind heute an Onlineserver gekoppelt, welche die notwendigen Prozesseinstellungen bereitstellen. Dafür setzen Anlagenbauer und Entwickler der [Anwendersoftware](#) auf integrierte Lösungen. Zugleich ermöglicht der Einsatz von Algorithmen den beteiligten Akteuren (Operator, strategisches Management, Rechtsabteilung, etc.), für Datenübertragungen und Visualisierungsmaßnahmen zusätzliche Informationen nutzerfreundlich aufbereitet offenzulegen. Mithilfe des digitalen Zwillings wurde ein Kopierschutz für additiv gefertigte Bauteile umgesetzt. Entscheidende Bauteilmerkmale, die im Produktionsprozess angebracht wurden, erlauben die digitale Identifikation von hochwertigen Industriebauteilen und erschweren Produktpiraterie.

Darüber hinaus können Unternehmen mittlerweile auf Datenbanken mit neu geschaffenen – und vor allem auch allgemein akzeptierten – [Standards](#) zugreifen, um ihre firmeninternen Produktionsprozesse konform auszulegen und ihre Prozessketten mit additiv-generativen Technologien zu zertifizieren. Produktionssysteme wurden geschaffen, welche die gesamte Wertschöpfungskette von der Materialanlieferung bis hin zur Nachbearbeitung und (automatischen) Qualitäts- und Kostenkontrolle umfassen. Serienprodukte können somit unter Einhaltung rechtlicher und technologischer Rahmenbedingungen gefertigt werden.

Die breite Nachfrage nach verschiedenen Verfahren der additiv-generativen Fertigung, sowohl im B2B- als auch im B2C-Sektor, wird darüber hinaus durch eine kosten- und ressourceneffiziente Funktionsintegration in Kombination mit Fortschritten in der Verfahrenstechnik und der Materialentwicklung gesichert. Dank der dynamischen Entwicklung der Werkstoffforschung ist auf dem deutschen Markt ein breiteres Angebot kostengünstiger und zertifizierter [Materialien](#) verfügbar. Die Materialpalette hat sich insgesamt stark erweitert. Auch die Verwertung abiotischer Sekundärrohstoffe ist deutlich gestiegen, dank der Entwicklung von neuen Technologien und Innovationen im Kontext von einer ressourcenschonenden und schadstoffärmeren industriellen Produktion. Eine kosteneffiziente Integration von Anlagen zur Multi-materialverarbeitung ist mittlerweile möglich. Darüber hinaus können Marktakteure aller Branchen ihre Anforderungen an die AM-Werkstoffe in einem Werkstoffportal anlegen sowie Anforderungsprofile für ihre Produkte über einen zentralen Werkstoffkonfigurator erstellen.

Im Rahmen der digital integrierten Produktion konnte der Beitrag zu einer nachhaltigen additiven Fertigung in

den Unternehmen erhöht werden, indem neue Konzepte für die Produktionsabläufe und den Ressourceneinsatz entwickelt wurden. Durch die konsequente Umsetzung neuer Strategien in Verbindung mit neuen Geschäftsmodellen sind sehr langlebige Produkte und nachhaltige Produktlebenszyklen möglich. In der Produktion werden heute **ressourceneffizientere Verfahren**, wie das Laser-Draht-Auftragschweißen und das selektive Laserstrahlschmelzen hybrid eingesetzt. Neben der Reduktion von Produktionszeiten werden die Technologien gezielt für die Produktfertigung und -reparatur eingesetzt. Die verwendeten Rohstoffe werden durch den hybriden Technologieeinsatz und die Pulverwiederaufbereitung effizienter ausgenutzt als vor fünf Jahren. Durch Spektral- und RFID-Scanner lassen sich die Materialkompositionen in den Produkten genau bestimmen und wieder in den Materialfluss zurückgewinnen. Somit wird die Rücknahme und das Recycling von sog. Smart Products am Ende des Produktlebenszyklus bzw. nach dem Ablauf der vereinbarten Nutzungszeit ermöglicht. Verbreitet sind auch Sharing-Konzepte zur Nutzung von Maschinenkapazitäten. Die Fortschritte in der Digitalisierung ermöglichen den Aufbau und die **Vernetzung von dezentralen Produktionsstandorten** (Virtual Factories). Unternehmen können somit flexibler und ohne hohen logistischen Aufwand Produkte entwickeln und am Markt agieren. Ein wichtiger Anwendungsbereich ist die Fertigung von Ersatzteilen und einzelnen Komponenten (auch in höhe-

ren Stückzahlen) in der Automobilindustrie und im Schienenverkehr. Weitere Anwendungsbereiche finden sich im Sondermaschinenbau, der Luft- und Raumfahrt, der Medizintechnik oder auch in der Spielwarenindustrie.

Um die Produktindividualisierung zu gewährleisten, werden die notwendigen, personenbezogenen Daten erfasst und datenschutzkonform zur Verfügung gestellt. Ihre Nutzung ist seit einigen Jahren auf der nationalen und europäischen Ebene vermehrt gesetzlich geregelt. Was in der Medizintechnik schon lange üblich ist, wird seit kurzem in anderen Branchen, wie der Automobil-, der Möbel- und der Freizeitindustrie angewendet.

Darüber hinaus hat sich mittlerweile eine spezifische AM-Dienstleistungsbranche Fertigung etabliert, die sich einzig auf Entwicklungs- und Konstruktionsdienstleistungen von Komponenten konzentriert und die entsprechenden digitalen Fertigungsvorlagen anbietet. Hier sind insbesondere Klein- und Kleinstunternehmen anzutreffen, die sich erst infolge der Entwicklungen in der digital integrierten Produktion herausbilden konnten. Diese **Unternehmen** sind u. a. mit den dazugehörigen Handwerksbetrieben in Form einer digitalen Manufaktur organisiert. Durch die direkte Vernetzung von digitaler Produktentwicklung und Produktion können die Kompetenzen der Unternehmen für die Erbringung kundenindividueller Dienstleistungen flexibel und effizient gebündelt werden.

Szenario 3 – Anlagenanbieter zunehmend unter Druck

SOZIOÖKONOMISCHE RAHMENBEDINGUNGEN FÜR AM IN DEUTSCHLAND

Wirtschaft

Die positive Konjunkturlage der deutschen Wirtschaft hat sich bis zum Jahr 2025 deutlich eingetrübt und der finanzielle Spielraum der Bundesregierung ist stark eingeschränkt. Die digitale Agenda der Bundesregierung wird nur schleppend umgesetzt. Neben der rückläufigen konjunkturellen Entwicklung sind in Deutschland zudem die Bevölkerungszahlen wieder rückläufig und das Erwerbspersonenpotenzial sinkt kontinuierlich. Zuwanderung aus dem Ausland erfolgt in einem seit Jahren gleichbleibend niedrigen Umfang und auch eine höhere Erwerbsbeteiligung von Frauen und Älteren kann den Bedarf an qualifizierten Mitarbeitern nicht decken. Infolgedessen sind die Unternehmen seit Jahren mit einem Mangel an qualifizierten Fachkräften konfrontiert, der nicht nur im AM-Bereich, sondern über alle Wirtschaftsbranchen hinweg hemmend wirkt. Zudem ist davon auszugehen, dass dieser Fachkräftemangel auch über das Jahr 2025 hinaus weiter anhalten wird.

Öffentliche Förderung

Die Investitionen in Forschung und Entwicklung sinken seit 2017 und sind mittlerweile auf 2,4 % des BIP zurückgefallen. Im internationalen Vergleich liegt Europa mit seinen Ausgaben für Forschung und Entwicklung weit hinter Ländern wie China, den USA, Japan und Singapur sowie Südkorea. Diese Länder haben schon vor 10 bis 15 Jahren milliardenschwere Förderprogramme aufgelegt, um Forschung und Innovationen (insbesondere für KMU) gezielt zu fördern. Dadurch haben Unternehmen aus amerikanischen und asiatischen Wirtschaftszonen eine deutlich stärkere Weiterentwicklung erfahren. Die wirtschaftliche Stagnation in Deutschland führt hingegen zu einer verringerten Investitionstätigkeit der Unternehmen.

Hochschulen

Die Integration von Themenschwerpunkten zur digitalen integrierten Produktion in die Ausbildungs- und Prüfungsinhalte der Hochschulen und Universitäten verläuft sehr langsam. Auch die Förderung von MINT-Fächern in der Schulbildung weist – wie schon seit Jahren – ein erhebliches Entwicklungsdefizit auf. Hinzu kommt, dass es an vielen deutschen Universitäten und Hochschulen an qualifiziertem Lehrpersonal für die Einführung von Studierenden in den Umgang mit AM-Verfahren fehlt. Oft entsteht kein umfassendes Verständnis für die Möglichkeiten, die AM-Technologien bieten, da das „additive Denken“ im Sinne funktionsorientierter Konstruktion zu wenig gefördert wird.

Aus- und Weiterbildung

Deutschland hat zwar versucht, auf die veränderten Anforderungen an die Fachkräfte mit bundesweiten Initiativen zur Kompetenzsteigerung in der Arbeitswelt zu reagieren, wie z. B. mit der „Initiative Berufsbildung 4.0“ des BMBF zusammen mit dem BIBB aus dem Jahr 2016. Mit etwas zeitlichem Abstand muss jedoch festgestellt werden, dass diese kaum Anklang fanden. Das Angebot an offiziell zertifizierten Weiterbildungslehrgängen mit AM-Bezug umfasst noch nicht alle Bereiche der Produktentstehungs- und Herstellungsprozesse und ist nicht ausreichend auf die Erfordernisse und Anforderungen der Industrie ausgerichtet. Hinzu kommt, dass innovative und digitale Weiterbildungen und Lernmethoden (z. B. „Blended Learning“, „Virtuelle Klassenräume“ oder „Mobile Learning“), die den Teilnehmenden mehr Flexibilität erlauben würden, im beruflichen Alltag vieler Fachkräfte in kleinen KMU kaum eine Rolle spielen. Nach wie vor fehlt in Unternehmen häufig die zur Etablierung zeitgemäßer Strukturen und Prozesse nötige IT-Infrastruktur. Darüber hinaus besteht bei vielen und insbesondere älteren Erwerbspersonen eine hemmende Unsicherheit im Umgang mit digitalen Lernformaten und Medien. Weil die Fertigkeiten von Absolventinnen und Absolventen regulärer Studiengänge und Ausbildungen als unzureichend angesehen werden, setzen führende Unternehmen zunehmend auf innerbetriebliche Weiterbildung. Insgesamt erfährt diese in Deutschland einen erheblichen Zuwachs. Insbesondere große Unternehmen reagieren auf den Fachkräftemangel mit spezifischen Schulungsmaßnahmen und agieren selbst als Wissensvermittler und Ausbilder von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, wodurch die öffentlich finanzierten Einrichtungen unter Druck geraten. Innerhalb der Unternehmen werden konkrete Anreize für eine betriebliche Weiterqualifizierung gesetzt. In manchen Fällen wird die Etablierung oder Umsetzung von entsprechenden Weiterbildungsformaten durch fehlende Personalabteilungen (in kleinen Unternehmen) oder eine eher konservative Einstellung bei den Entscheidungsträgern (in KMU) gehemmt.

KMU

Kleine und mittelständische Unternehmen zögern noch immer, ihre Prozesse zu digitalisieren und das Konzept der digitalen Fabrik zu verfolgen, da sich in den letzten Jahren gravierende Regelungslücken im Bereich des Sicherheits- und Datenschutzes offenbarten. Hinzu kommt ein Anstieg der Cyberkriminalität, der für viele Geschäftsprozesse eine Bedrohung darstellt. Gegenüber Staaten wie China oder den USA, die im vergangenen Jahrzehnt umfassend in den Bereich der digitalen Wertschöpfung und Cybersicherheit investierten, zeigen sich in Deutschland unübersehbare

Strukturschwächen, die Wettbewerbsnachteile nach sich ziehen. Immer mehr internationale Großinvestoren (v. a. aus Südostasien) erwerben große Anteile von deutschen KMU (sowohl auf Anbieter- als auch auf Anwenderseite) oder kaufen diese vollständig auf. Dadurch erhalten die internationalen Player Zugang sowohl zu aufgebautem Know-how als auch zu Absatzmärkten und stoßen Abwanderungsbewegungen an, die als hohe Mitarbeiterfluktuationen in den Firmen sichtbar werden.

Rechtlicher Umgang mit AM

Bis zum Jahr 2025 konnten Rechtswissenschaftler den rechtlichen Umgang mit AM aufgrund der Nachfrage auf dem deutschen Markt aufbauen. Die einschlägige Literatur zu diesem Thema ist allerdings eingeschränkt, obwohl es zahlreiche praxisrelevante Fälle zur vertraglichen und gesetzlichen Haftung im Bereich des Gewährleistungsrechts, der Produkthaftung und der Produzentenhaftung gibt. Gerichtsurteile aus der Vergangenheit und Gegenwart zeigen, dass die Justiz sich mit der Technologie auseinandersetzen muss, auch wenn es Deutschland nicht gelungen ist, in der Anlagentechnik international wettbewerbsfähig zu bleiben. Für die juristische Ausbildung war es erforderlich, aufgrund der globalen Verschiebung der Kräfteverhältnisse einen wirtschaftlichen und technischen Bezug in das Studium der Rechtswissenschaften zu integrieren, welcher jedoch eher oberflächlich verblieben ist.

Es ist rechtlich erforderlich geworden, auch globale Player der digitalen Industrie, welche additiv gefertigte (End)produkte und AM-bezogene Dienstleistungen anbieten, mehr in die Haftung zu nehmen. Viele Gesetzesnormen wurden verbraucherfreundlich ausgelegt oder entsprechend angepasst. Für Kollaborationsplattformen wurden eindeutige Rahmenbedingungen festgelegt, damit eventuelle Probleme mit Produktherstellern und Dienstleistern einfacher geregelt werden können.

AM IN DEUTSCHLAND (ANLAGEN- UND MATERIALENTWICKLUNG, ANBIETER UND ANWENDER)

Anlagen deutscher Hersteller für AM-Bauteile erfüllen 2025 in vielen Industriebereichen nicht die qualitativen Anforderungen für standardisierte, automatisierte und roboter-basierte Produktionsprozesse. Der Aufwand für vor- und nachgelagerte Prozesse ist weiterhin sehr hoch. Durch die Vergrößerung der Bauräume konnten die Anlagenhersteller zwar die Volumenrate erhöhen und somit die Produktivität ihrer Maschinen steigern. Komplexe Produkte aus mehreren Materialien werden in der industriellen Produktion allerdings noch wenig hergestellt. Multimaterialverarbeitung steht noch vor erheblichen Herausforderungen, etwa bei der Prozessführung zum Auftrag zweier oder auch mehrerer Materialien und deren Materialverbindung, der Materialwiederaufbereitung oder der Prozesskontrolle. Zudem steht die benötigte Zeit zur Qualifizierung der

Fertigungsprozesse konträr zur stetigen Verkürzung der Produktentwicklungszyklen. Folglich ist auch eine Integration von AM-Systemen für die Multimaterialverarbeitung noch nicht realisierbar.

AM bietet jedoch neue Chancen im Dienstleistungssektor. Der Bedarf an schnell und einfach zu generierenden Produkten mit teilweise hohem Individualisierungsgrad ist nach wie vor hoch. Die modernen AM-Anlagentypen zeichnen sich durch eine besonders robuste Architektur aus, die mit wenigen Funktionen und optional mit Condition-Monitoring ausgestattet werden. Technische Verbesserungen für additiv gefertigte Funktionsteile aus Metall haben lediglich inkrementellen Charakter und bleiben noch immer hinter den Erwartungen zurück.

Die Palette an AM-Materialien wird weltweit kontinuierlich erweitert. Aufgrund eines wachsenden Absatzes und Verbesserungen der Herstellungsprozesse von AM-Materialien sinken ihre Preise stetig. Materialhersteller sind heute als Systemanbieter ein wichtiger Bestandteil in der Wertschöpfungskette und entwickeln ihre Produkte anhand individueller Kundenwünsche.

Insgesamt werden heute neue Technologieinnovationen maßgeblich in Südostasien und den USA weiterentwickelt und durch umfassende sowohl staatlich als auch privat finanzierte FuE-Industriekooperationen in diesen Ländern gefördert. Aufgrund der Vorreiterrolle deutscher Unternehmen in Bereichen mit sehr hohen Qualitätsstandards, wie dem Laserstrahlschmelzen oder dem Laser-Pulver-Auftragschweißen, haben ausländische Entwickler in andere Fertigungsverfahren (z. T. Stranggut-basiert) investiert, mit welchen eine kontinuierliche Fertigung realisiert werden kann. In der Gesamtbetrachtung sind diese Unternehmen heute in vielen Bereichen ressourceneffizienter und damit kostengünstiger als ihre deutschen Konkurrenten, so dass Deutschland inzwischen auch den Spitzenplatz in der Anlagenentwicklung an konkurrierende Länder abgegeben hat – auch im Bereich des metallbasierten AM. Deutschlands Anteil am globalen Umsatz im Bereich des AM liegt mittlerweile nur noch bei 5 %. Zudem verkaufen deutsche Entwickler ihre High-End-Industrieanlagen verstärkt nach Südostasien, wodurch Deutschland auf der Anwenderseite im internationalen Vergleich noch schlechter gestellt ist als im Jahr 2018.

Diese Entwicklung ist auch darin begründet, dass die Bemühungen der Bundesregierung, der Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen und der Industrie seit Jahren weitgehend unkoordiniert und intransparent verlaufen. Es ist insgesamt eine Desintegration der verschiedenen AM-Initiativen, Forschungskonsortien und -institute, Bundesministerien und Gremien (u. a. Standardisierung und Normung, VDI, VDMA etc.) zu beobachten. Öffentliche Aufwendungen für neue Technologien wie das AM werden nur indirekt in nationalen Strategien adressiert und in öffentlichen Förderprogrammen allenfalls segmentiert gefördert. Industriepartner in FuE-Vor-

haben sind in der Regel Großunternehmen und verhältnismäßig wenige KMU. Kooperative interorganisationale Wertschöpfung wird in Förderprojekten vereinzelt initiiert. In Deutschland mangelt es nach wie vor an Erfolgsgeschichten, die **Unternehmen** veranlassen würden, in AM zu investieren. Die konservative Haltung in vielen Unternehmen steht im Widerspruch zu den Möglichkeiten, mittels flexibler und offener Geschäftsmodelle neue Geschäftsfelder am Markt zu etablieren.

Auf der Anwenderseite waren aufgrund hoher Investitionserfordernisse ebenfalls nur wenige KMU in der Lage, die erforderlichen Modernisierungsmaßnahmen umzusetzen. Es ist den meisten KMU bis heute nicht gelungen, flächendeckende Netzwerkstrukturen mit leistungsstarken Übertragungsraten für eine vernetzte **digitale Produktion** aufzubauen, um eine digitale Transformation ihrer Entwicklung und Produktion zu realisieren. (R)echtzeitvernetzte und dezentrale Datenbankapplikationen und Prozessplanungstools, die von taktilen Netzwerken abhängig sind, sind dadurch nicht nutzbar und es werden noch immer dedizierte – also standortgebundene – ERP-Systeme verwendet. Die Tendenz zur Handhabung exklusiver Nutzungsrechte für **Software** mit beschränkten Zugriffsmöglichkeiten, auch gegenüber Produktions- und Vertriebspartnern, steigt.

Auch wenn Deutschland nicht mehr zu den Leitanbietern in der Branche zählt, nahmen vor allem zahlreiche Großunternehmen in Deutschland AM mittlerweile in ihre Produktionspalette auf und arbeiten u. a. auch an der Materialoptimierung für die Fertigung komplexer Bauteile innerhalb des Unternehmens. Beispiele dafür sind im Maschinen- und Anlagenbau oder in der Luftfahrt beobachtbar. Airbus fertigt mittlerweile 20 Prozent der Bauteile, die früher von Zuliefererfirmen hergestellt wurden, selbst. Dies schadet jedoch vielen Zuliefererunternehmen, da die Rückführung der Produktionsprozesse zurück in die eigene Unternehmensstruktur die Obsoleszenz vieler KMU nach sich zieht.

Zudem haben sich mittlerweile **neue Akteure** in den Markt gedrängt, wodurch sich die globalen räumlichen sowie sektoralen Kräfteverhältnisse deutlich verändert haben. So bieten heute große globale Player der digitalen Industrie gemeinsam mit Wirtschaftsakteuren aus aller Welt (Designer, Auftragsfertiger, Logistikunternehmen etc.) ihren Endkunden Produkte und Dienstleistungen über Kollaborationsplattformen an. Kundenindividuelle Fertigung, auch für den deutschen Markt, ist dadurch mittlerweile in vielen Bereichen, etwa in der Möbel-, Textil-, Bekleidungs- oder Spielwarenindustrie, zu einem wichtigen Wachstumsmarkt geworden. Mittels partizipativer Kundenportale (Self-Services) werden maßgeschneiderte Angebote zum richtigen Zeitpunkt unterbreitet.

Bei Endanwendern ist zum einen der Wunsch nach individualisierten Produkten gestiegen. Gleichzeitig ist auch die

Nachfrage nach Reparaturen oder Anpassungen deutlich höher, da der Grundgedanke eines nachhaltigeren Konsums immer weitere Verbreitung findet. Für Reparaturen gilt: neben der ökologischen Motivation sparen Konsumenten bares Geld, wenn sie ihre gekauften Produkte länger nutzen können. Da der Austausch von CAD-Modellen für Ersatzteile aller Art über Online-Plattformen immer populärer geworden ist, reagieren mittlerweile auch die Hersteller und bieten entsprechende Services an. Für viele Hersteller sind einzelne Teile, die in der ursprünglichen Serienproduktion eines Endprodukts konventionell gefertigt wurden, im Falle eines erst Jahre später eintretenden Defekts oder Ausfalls mittels AM häufig kostengünstiger zu replizieren. Das Ersatzteil und die dafür nötige Produktionsinfrastruktur müssen nämlich nicht über lange Zeiträume vorgehalten oder gefertigt werden. Lagerkosten konnten aus diesem Grund in vielen Fällen deutlich reduziert werden, während die Herstellung gleichzeitig nicht an einen einzelnen Standort gebunden ist. So können Kunden flexibel mit den jeweils benötigten Teilen beliefert werden, solange das nötige Rohmaterial vorhanden ist. Insbesondere selten benötigte Ersatzteile werden mittels AM gefertigt. Endanwender können auf ein breit gefächertes Netz an 3D-Copyshops zurückgreifen, die meist in den Ballungsräumen zu finden sind. Reparaturwerkstätten für Konsumgüter (Elektronik, Haushaltsgeräte) erleben eine Renaissance.

Neben dem nachhaltigen Konsum wird auch die Passgenauigkeit von Produkten für Konsumentinnen und Konsumenten immer wichtiger. Auch Weiterentwicklungen von 3D-Scan-Technologien und von intuitiven Modellierungswerkzeugen zum Produktdesign ermöglichen die Erschließung von immer mehr Anwendungen. So halten Produkte wie ergonomisch optimierte Bürostühle oder an die Hand des Nutzers angepasste Werkzeuge oder Wearables Einzug. Hinzu kommen ästhetisch-modische Erwartungen und Trends, die den Absatz von Konsum-, Haushalts- und Freizeitartikeln mit individuellen Design stärken. Auf kurzfristige Modeerscheinungen und ausgefallene Kundenwünsche kann in der Textil- und Bekleidungsindustrie bzw. in der Herstellung von Spielwaren, Schmuck oder Instrumenten schnell und flexibel reagiert werden, da keine aufwändigen Umstrukturierungen von Produktionsprozessen erforderlich sind. Mit relativ niedrigen Ansprüchen, beispielsweise an die Oberflächenqualität, sind die meisten Produkte in diesen Bereichen auch ohne teure High-End-Anlagen herstellbar.

Die Marktmacht der Plattformen steigt weiter und teilweise sind aggressive Wachstumsstrategien zu beobachten („Umsatz um jeden Preis“). Deutsche Anbieter können mit Fachkräften für Design sowie Ingenieurinnen und Ingenieuren aus asiatischen Ländern, deren Arbeit um ein vielfaches günstiger angeboten wird als hierzulande, nur schwer mithalten.

Das Projekt AGENT-3D_Basis

Das Konsortium AGENT-3D ist eine strategische Allianz für Forschung, Innovation und Wachstum führender Forschungseinrichtungen, Industrie und KMU. Gemeinsames Ziel ist es, die additiv-generative Fertigung zur Schlüsseltechnologie der Industrie 4.0 zu entwickeln. Gefördert wird das Konsortium vom Bundesministerium für Bildung und Forschung.

Das Projekt AGENT-3D_Basis stellt eine wichtige Brückenfunktion zwischen Strategie- und Technologievorhaben dar. Dabei erarbeitet AGENT-3D_Basis wichtige Grundlagen mit interdisziplinärem Charakter, die nachfolgend in den weiteren Verbundvorhaben Anwendung finden. Fünf Themenfelder werden dabei adressiert:

- Auswirkungen sozio-ökonomischer Faktoren auf die Entwicklungschancen des AM,
- Urheber-/patentrechtlicher Schutz, Produkthaftung, wettbewerbsrechtliche Anforderungen,
- Neue Wege in Konstruktion und Design,
- Prozesssicherheit, Materialien und Qualitätssicherung,
- Schnittstellen und Standardisierung.

Weitere aktuelle Informationen sowie Broschüren und Veröffentlichungen finden Sie unter www.agent3d.de.

Impressum

Autorenschaft:

Annamaria Riemer, Fraunhofer IMW
Inga Döbel, Fraunhofer IMW
Dr. Juliane Welz, Fraunhofer IMW
Valentin Knitsch, Fraunhofer IMW
Dr. André Bergmann, Fraunhofer IPK
Danny Giebitz, Fraunhofer IPK
Dr. Elmar Schüll, Fh Salzburg

Design:

Anne Gärtner, AGENT-3D e.V.
Tanja Olenik, AGENT-3D e.V.

Bildnachweise:

Titelbild: AGENT-3D e.V.

S. 4: Fraunhofer IMW;

S. 9: AGENT-3D e.V.;

Designed by rawpixel.com / Freepik;

Designed by Kues / Freepik

© AGENT-3D e.V. 2019

Bei Abdruck ist die Einwilligung der Autorenschaft erforderlich.



FH Salzburg

ISBN 978-3-945506-25-0
www.agent3d.de/downloads